高経年化技術評価等報告書に対する
技術審査報告書

（関西電力株式会社美浜発電所3号機）

平成１８年7月２６日

独立行政法人 原子力安全基盤機構

目 次

1．はじめに 1

2．審査の経緯 2
(1) 総合的な審査 2
(2) 報告書の変更 2
(3) 再審査 2
(4) 現地検査 2
(5) 報告書の補正等 3
(6) 再々審査 3
3．審査の内容 3
3．1 高経年化技術評価等 3
(1) 評価対象機器･構造物の抽出 3
(2) 消耗品･定期取替品の抽出 4
(3) 機器･構造物の部位への分割 4
(4) 動的機器(部位)の抽出 5
(5) 使用材料及び環境の同定 5
(6) 経年劣化事象の抽出 5

3．2 経年劣化事象ごとの技術評価 8

(1) 原子炉容器の中性子照射脆化 8
(2) 低サイクル疲労 11
(3) 応力腐食割れ 13
(4) 絶縁低下 16
(5) 減肉 18
(6) コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下
(含む鉄骨構造の強度低下等) 22

(7) その他の経年劣化事象 25

3．3 網羅性の確保について 41

(1) 経年劣化事象の評価に係る網羅性の確保 41
(2) 部位の評価に係る網羅性の確保 41
(3) 機器･構造物の評価に係る網羅性の確保 41

3．4 耐震安全性評価 43

4． 長期保全計画 51

5． おわりに 52

添付資料－1 「機器別の着目すべき経年劣化事象の抽出まとめ」 53
まえがき 54
1. ポンプ 55
2. 熱交換器 58
3. ポンプモータ 62
4. 容器 63
5. 配管 67
6. 弁 70
7. 炉内構造物 72
8. ケーブル 74
9. 電気設備 75
10. タービン設備 77
11. コンクリート及び鉄骨構造物 80
12. 計測制御設備 85
13. 空調設備 87
14. 機械設備 90
15. 電源設備 95
16. その他設備 100

添付資料－2 「標準審査要領に基づくチェックリスト」(例) 103

添付資料－3 「耐震安全性評価の概要」 105

１．はじめに

関西電力株式会社（以下「事業者」という。）は、原子炉等規制法第３５条(保安及び特定核燃料物質の保護のために講ずべき処置)第１項の規定により、実用発電用原子炉施設の設置、運転等に関する規則（以下、「規則」という。）第１５条の２（原子炉施設の定期的な評価）第２項の規定に基づき、平成１８年１２月１日で運転開始後３０年目を迎える美浜発電所３号機について高経年化技術評価等を行い、規則第２４条第２項の規定に基づき、平成１８年１月３０日付け関原発第３９６号をもって、「美浜発電所３号機高経年化技術評価等報告書」（以下「事業者報告書」という。）を経済産業大臣に提出した。

独立行政法人原子力安全基盤機構（以下、「当機構」という。）は、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）からの指示により、以降、平成１７年１２月２６日付で発せられた「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」（以下、「ガイドライン」という。）、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領」（以下、「標準審査要領」という。）、及び同日、当機構が公表した「実用発電用原子炉施設における高経年化対策技術資料集(各種高経年化技術評価審査マニュアル；原子炉容器の中性子照射脆化、応力腐食割れ、疲労、配管減肉、電気計装設備の絶縁低下、コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下、耐震安全性評価）（以下、「審査マニュアル」という。）に基づき、事業報告書に記載の技術的妥当性について確認を行った。本報告書は、審査結果の概要を取り纏めたものである。

2．審査の経緯

(1) 総合的な審査

事業者は、規則第１５条の２第２項の規定に基づき、高経年化技術評価等を行うとともに、規則第２４条第２項の規定に基づき、平成１８年１月３０日付け関原発第３９６号をもって、事業者報告書を経済産業大臣に提出した。

保安院は、当機構に対して、平成１８年１月３０日に「関西電力株式会社美浜発電所３号機の高経年化技術評価結果及び長期保全計画の技術的妥当性の確認について」（平成18･01･30原院第６号；NISA-167d-06-2）を発出し、事業者における美浜発電所３号機の高経年化対策に係る評価結果について、技術的妥当性の確認を行い、その結果を保安院へ報告するように指示した。当機構は、これを受けてガイドライン、標準審査要領に記載の“審査等の視点及び判断基準”及び審査マニュアルに則り審査を開始した。

(2) 報告書の変更

審査の過程で、事業者自ら、先行２プラントの審査内容を踏まえ修正等を行い、規則第２４条第３項の規定に基づき、平成１８年４月２０日付関原発第２６号をもって、美浜発電所３号機高経年化技術評価等報告書（変更）（以下「変更報告書」という。）を経済産業大臣に提出した。

(3) 再審査

保安院は、再度、当機構に対して、平成１８年５月２６日に「関西電力株式会社美浜発電所３号機の高経年化技術評価結果及び長期保全計画（変更）の技術的妥当性の確認について」（平成 18･05･25 原院第 2 号；NISA-167d-06-5）を発出し、事業者における美浜発電所３号機の高経年化対策に係る評価結果について、技術的妥当性の再確認を行い、その結果を保安院へ報告するように指示した。

当機構は、ガイドライン、標準審査要領に記載の“審査等の視点及び判断基準”及び審査マニュアルに則り再審査を実施した。なお、変更報告書には、当機構からのこれまでのヒアリング時の指摘事項に対する修正に加え、同社が自発的に修正した内容が含まれており、当機構は、変更報告書について技術的妥当性の再確認を行った。

(4) 現地調査

事業者の報告書に記載される具体的な技術評価の裏付け又は根拠となるデータ、文書等を直接確認するため、当機構は、これらを主として保存･管理している当該発電所に保安院が実施した立入検査（平成１８年５月３０日～６月２日）に技

術的妥当性確認を支援する立場から同行（以下、「現地調査」という。）した。

なお、保安院は、経年劣化の進展劣化の進展予測評価等が現場の機器・構造物の実態を適切に踏まえたものであること等を確認するため、美浜3号機への現地調査を平成18年6月20日に実施したが、当機構も技術的妥当性確認の観点からこれに同行した。

(5) 報告書の補正等

保安院は、報告提出を受けた変更報告書の審査の過程で指摘事項（当機構からの指摘を含む）を事業者に指摘し、これを受けて事業者は変更報告書を修正し美浜発電所3号機高経年化技術評価等報告書の変更結果の報告（平成18年7月21日付関原発第130号をもって一部補正）を提出した。

(6) 再々審査

当機構は、ガイドライン、標準審査要領に記載の“審査等の視点及び判断基準”及び審査マニュアルに則り技術的妥当性の再々確認を行った。

3. 審査の内容

3.1 高経年化技術評価等

(1) 評価対象機器・構造物の抽出

「重要度分類指針」[1]の重要度分類クラス1、2及び3に分類される機器・構造物が漏れなく抽出されていることを審査した。

事業者は、重要度分類クラス1、2及び3に分類される機器・構造物について、原子力保全総合システム（M35）[2]等を活用し抽出している。

現地調査では、事業者がM35を用いてどのように漏れなく評価対象機器を抽出しているかを確認した。M35は、色塗り系統図、ロジック図及び単線結線図に基づき作成されているが、事業者は、高経年化技術評価を実施するにあたり、M35を用いた評価対象機器抽出の信頼性を確保するため、事業者本店原子力事業部高経年対策グループ（以下、「高経年化対策グループ」という）が改めて高経年化技術評価用の色塗り系統図を作成した上で、相互に比較しつつ、抜け落ちがな

---

[1] 発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成2年8月30日原子力安全委員会決定）

[2] 点検内容、周期等の保全業務の計画立案、不具合情報の反映などを行い、原子力発電所の安全性、品質向上を支援するシステム。設備情報、保全方針（点検内容、周期を定めたもの）、点検計画、不具合情報、点検記録等の情報を保有している。

いよう対象機器の選定を行っている。

以上の結果より、事業者が行った評価対象機器･構造物の抽出は妥当なものであると評価する。

⑵ 消耗品･定期取替品の抽出

高経年化技術評価等の対象外とすることができる消耗品･定期取替品について、その定義を明確にして抽出しているか審査した。

事業者は、供用に伴う消耗が予め想定される部品であって設計時に取替を前提とするもの及び機器分解点検等に伴い必然的に交換されるものを消耗品として技術評価対象から外すこととしていた。また、設計時に個々の機器の耐用期間内に計画的に取替えることを前提としているもので、交換基準が社内標準等により定められているものについても定期取替品として対象から除外することとしていた。

事業者は、消耗品･定期取替品について、定義を明確化した上で、評価対象から除外することとしており消耗品･定期取替品の抽出は妥当であると評価する。

⑶ 機器･構造物の部位への分割

原子力発電所の安全機能達成のため、機器･構造物ごとに要求される機能を明確にし、その機能の維持のために必要な部位を評価対象として抽出していることを審査した。

事業者は、各機器個別の条件を踏まえ、機器に要求される機能に対してその機能維持に関連する主要なすべての部位に展開するとしており、報告書には対象機器･構造物ごとに対応する部位が記載されている。

現地調査において、当機構は事業者の部位展開に係る考え方･手法として、例えば、タービン動補助給水ポンプタービンでは、事業者の研究成果を基に作成されている信頼性ブロック図で機能維持に影響を与える部位が抽出されていることを確認した。

この結果、事業者が行った機器･構造物の評価部位への分割は妥当なものであると評価する。

⑷ 動的機器（部位）の抽出

今回、事業者は評価対象外とすることができる動的機器（部位）の抽出は行わず、動的機器（部位）を含めた全ての機器に対する技術評価を実施している。

⑸ 使用材料及び環境の同定

発生しているか又は発生する可能性のある経年劣化事象の抽出に当たって、部位単位の使用材料、環境を踏まえていることを審査した。

事業者は、前記（3）で分割した部位単位で、機器設計仕様書、系統設計仕様書及び取扱説明書等を用いて使用材料及び環境（圧力、温度、構造、流体条件等）を同定しており、妥当なものであると評価する。

⑹ 経年劣化事象の抽出

部位の使用材料及び環境に応じ、発生しているか、又は発生が否定できない経年劣化事象がすべて抽出されていることを審査した。

事業者は経年劣化事象の抽出の方法として、以下の手順で考慮すべき経年劣化事象を抽出していることを確認した。なお、明らかに設計・施工不良に起因すると認められる事象や消耗品・定期取替品の経年劣化事象については対象外としている。

第1段階……他産業での経験も踏まえ、工学的に想定される経年劣化事象のうち、原子力機器の置かれている環境を考慮し、原子力プラントで想定される経年劣化事象を抽出する。

第2段階……原子力プラントで想定される経年劣化事象について、国内外の過去数十年の運転実績、材料データ等を踏まえて、発生が想定される経年劣化事象を抽出する。

第3段階……各機器個別の条件を踏まえ、機器に要求される機能に対してその機能維持に関連する主要な全ての部に展開した上で、考慮すべき部位・経年劣化事象を抽出する。抽出の際には、プラントの型式、年代、立地地域、加工法や施工法による特異性になどに配慮する。

なお、標準審査要領では、当該プラントのみならず、国内外の運転情報、最新の技術的知見及び試験研究成果を整備し、これらの情報から経年劣化事象を抽出しているかとの視点・着眼点があり併せて審査した。

事業者は、美浜発電所1、2号機及び高浜発電所1、2号機を含む先行号機の技術評価報告書を参考にするとともに、それ以降2003年4月～2006年1月に得られた国内外の原子力プラント運転経験や最新の技術知見を反映している。

国内外の原子力プラント運転経験に係る情報について、国内は、有限責任中間法人日本原子力技術協会の原子力施設情報公開ライブラリー（ニューシア）において公開されている「トラブル情報」、「保全品質情報」及び「その他情報」を対象とし、海外は、NRC（米国原子力規制委員会）のBulletin[3]、Generic Letter[4]及びInformation Notice[5]の情報を対象としている。

最新の技術的知見については、国の定める技術基準、JNES の高経年化技術情報データベースの情報、（社）日本機械学会、(社)日本電気協会及び(社)日本原子力学会等の規格・基準類、等を対象にしている。

国内の運転経験については、高経年対策グループが直接収集し、また、国外の運転経験については、事業者本店原子力事業本部発電グループが（株）原子力安全システム研究所（INSS）に委託して収集した情報を高経年対策グループが入手している。これら国内外の運転経験情報から高経年化技術評価に必要な情報の抽出を（株）原子力エンジニアリングに委託し、その結果を高経年化対策グループが確認した上で事業者報告書へ反映している。

また、最新の技術知見については、高経年対策グループが直接収集し、事業者報告書へ反映しており、運転経験及び最新の技術的知見が抜け落ちなく、適切に収集・反映されている。

また、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（以下「着目すべき経年劣化事象」という。）の抽出に当たっては、前記の手法で抽出した考慮すべき経年劣化事象から、下記のア～ウの理由で高経年化対策上有意な経年劣化でないと判断されるものを除き、高経年化対策上重要と判断される事象として抽出しており、着目

---

[3] 検査実施局（I&E）によって原子力産業界や公衆に対して発行される通達であり、法的効力をもつものではないが、米国原子炉規制局（NRR）、I&E 局長や NRC 委員が固有の問題や特定の問題に関し、特定の認可取得者に対して発行された命令的な通達は法的強制力を有する。

[4] 米国原子炉規制局から認可取得者へ発行される書簡であり、個々の問題に対する NRC スタッフの見解や技術指導が記載される。規制局が意見や情報提供を要請している場合は、法的強制力がある。

[5] 検査実施局（I&E）によって原子力産業界や公衆に対して発行される公報であり法的効力をもつものではないが、NRR、I&E 局長や NRC 委員が固有の問題や特定の問題に関し、特定の認可取得者に対して発行した命令的な書簡は法的強制力を有する。

すべき経年劣化事象に該当する事象と位置付けている。

ア. 現在までの運転経験で有意な経年劣化傾向が認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因がないと判断できるもの。

イ. 日常の巡視点検等にて経年劣化の兆候が容易に把握でき、かつ容易に修復することが可能であるもの。

ウ. 使用条件から考えて、材料試験データとの比較等により、容易に工学的には問題ないと判断できるもの。

なお、イ. については、着目すべき経年劣化事象であることを否定できないものの、塗装の剥離や油脂の劣化等日常の巡視点検にて容易に検知でき、かつ修復も容易であるとして、着目すべき経年劣化事象としての評価対象から除外している。

以上のような過程を経て、事業者は、評価対象機器・構造物の部位と高経年化対策上重要な経年劣化事象を組み合わせたマトリクス表を作成している。

当機構は、現地調査において、前記の各段階に具体的な経年劣化事象を当てはめて経年劣化事象の抽出を行っていることを確認した。

このような経年劣化事象の抽出方法は、個々の経年劣化事象について、ガイドラインで定義される着目すべき経年劣化事象であるか否かを直接的に評価した方法ではないが、着目すべき経年劣化事象を保守的に抽出する観点から妥当なものであると評価する。

3．2 経年劣化事象ごとの技術評価

事業者の高経年化技術評価等報告書で「着目すべき経年劣化事象」とされている全事象について技術的妥当性の評価を行った。即ち、標準審査要領に従い、技術的妥当性の確認を行った。

また、原子炉容器の中性子照射脆化、低サイクル疲労、応力腐食割れ、配管減肉、電気計装設備の絶縁低下、コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下、並びに耐震安全性評価については、審査マニュアルに沿って評価を実施した。

(1) 原子炉容器の中性子照射脆化 (表3．2－1参照)

原子炉容器の中性子照射脆化は、炉心の核分裂により生成される中性子が長期間にわたり原子炉容器に照射されることにより、その靭性が徐々に低下する (脆化) 現象である。

原子炉容器材料は、低温では脆く遷移温度域で破壊靭性が増加し、上部棚温度域ではほぼ一定の破壊靭性となる。照射により遷移温度は上昇し、上部棚温度での破壊靭性は低下する。事業者は脆化傾向を定量的に把握するために試験用カプセル内に不活性ガスと一緒に内封された監視試験片を原子炉容器内に装荷し、これを定期的に取り出して機械的性質の確認を行っている。中性子照射脆化による破壊靭性の変化は、図1に示すように、監視試験片として用いられるシャルピー衝撃試験片の試験から求められる遷移温度の上昇量と上部棚吸収エネルギー (USE) の低下を用いて評価する。

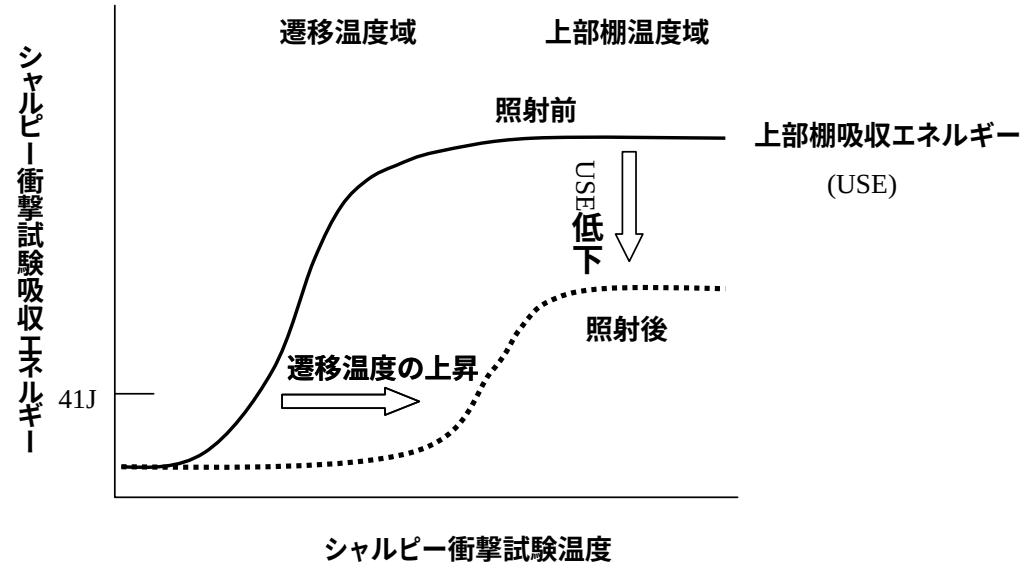

図1 中性子照射に伴う脆化

これまでに本プラントでは8体ある監視試験片のうち3体を取り出して試験を行っている。監視試験で得られた遷移温度の上昇と、USE の低下の傾向は、何れも国内脆化予測式の範囲内にあり、大きなばらつきは認められていない。しかしながら、国内脆化予測式は、実績の多い比較的低い照射量域での脆化傾向を表しており、今後の運転においては、高照射領域での脆化データを予測式に反映することによって予測評価精度を向上することが望まれる。

これに対し、事業者は以下の事項について評価を行い、追加保全策を策定している。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

原子炉容器の中性子照射脆化では、中性子照射量の最も多い原子炉容器胴部を評価点として抽出している。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

原子炉容器の中性子照射による脆化については、実機の脆化傾向を計測する監視試験片の設置が技術基準で定められており、また脆化予測式が電気技術規程 JEAC4201-2004「原子炉構造材の監視試験方法」に定められている。高経年化技術評価では、監視試験結果と脆化予測式を比較して、当該原子炉容器の脆化傾向を評価した上で、遷移温度域、上部棚温度域ともに脆化予測式に従って、60年供用時までの脆化を予測している。

③ 健全性の評価

当該原子炉容器の照射脆化傾向については、監視試験片を挿入したカプセルを炉内に8体挿入し、現在までに3体のカプセルを取り出し試験が実施され、原子炉容器胴部材料でできた監視試験片の遷移温度域における関連温度とシャルピー上部棚温度域における吸収エネルギーが把握されている。

遷移温度域の関連温度上昇傾向については、監視試験データが脆化予測式と比較され、全ての監視試験データの関連温度の上昇量が脆化予測式の予測値を下回っていると報告されている。

その上でこの脆化予測式の予測線に沿って関連温度が上昇するとして JEAC4206－2004「原子力発電所用機器に対する破壊靭性の確認試験方法」に従って破壊靭性を評価し、低温操作時の温度圧力管理を行うとしている。また、同じくJEAC4206－2004に従って60年供用時の破壊靭性を評価し、原子炉容器の

冷却を伴う事故時（加圧熱衝撃事象（PTS 事象）、大破断 LOCA）時においても、破壊靭性が想定き裂に生じる破壊力を上回るため、原子炉容器が破壊することはないと評価している。

当機構は、監視試験記録の現地調査等により、これらの評価が正しく実施されていることを確認した。

上部棚温度域の吸収エネルギー（USE）については、JEAC４２０１－２００４の脆化予測法によって６０年供用時の上部棚吸収エネルギーを予測している。今までに実施された3回の監視試験の脆化傾向は、比較的よく合致していてばらつきも小さく、脆化予測式から乖離して脆化が進む兆候は認められない。

上部棚温度域での健全性については、JEAC４２０６－２００４に従って USE がスクリーニング値６８J 以上であれば十分な破壊靭性を有して健全性が維持されるとしており、６０年供用時の USE 予測値はスクリーニング値を上回っているので健全性が確保されるとしている。

当機構は、監視試験記録の現地調査等により、これらの評価が正しく実施されていることを確認した。

また、原子炉容器胴部の健全性評価に関連して、報告書には供用期間中超音波探傷検査により、当該部に有害な欠陥の無いことを確認していると記載されている。当機構は、原子炉容器胴部の供用期間中検査において欠陥指示が検出されていないことを検査記録で確認した。遷移温度域での健全性を確保するための温度圧力制限や PTS 事象などに対する健全性評価では、大きな欠陥を想定するが、実機評価点の供用期間中検査記録には欠陥エコーが記録されておらず、有意な欠陥が存在しないと評価されるので、十分大きな余裕を持って健全性が確保されていると判断する。

以上まとめると、当機構は、事業者が提出した報告書に記載のとおり、遷移温度域、上部棚温度域ともに、最新の電気技術規程に従って６０年供用時までの原子炉容器の脆化が予測されていること、また予測結果に基づいて原子炉容器の健全性を評価していることを確認した。

以上述べたように、中性子照射脆化について最新の規格に基づいて正しく評価されている。また、監視試験により把握された脆化傾向は、銅含有量の少ない原子炉容器材料の示す緩やかな脆化傾向であって、予測値に対して実測値の余裕が大きく、今後短期間に脆化予測式の予測を超えて脆化するとは考え難い。

ただし、脆化予測式は実績の多い比較的低照射量域での脆化傾向を表しており、高照射量データの裏付け強化が望まれる。今後、高照射領域での監視試験データにより脆化状況を確認しつつ供用することと、それらを脆化予測式に反映することによって予測評価精度を向上することが望まれる。

④ 現状保全の評価

当初監視試験カプセルを8体挿入し、計画的に現在までに3体を取り出し、監視試験を行い、その結果を基に、ＪＥＡＣ４２０１－２００４の国内脆化予測式に基づいて脆化を予測し、ＪＥＡＣ４２０６－２００４に基づき、運転上の制限範囲（加熱・冷却時制限曲線）及び耐圧漏えい試験温度を定めて運転管理している。残りのカプセルについても監視試験を計画的に行い、ＪＥＡＣ４２０１を踏まえつつ適切かつ活用、評価を実施することとしている。また、原子炉容器に対しては、定期事業者検査で超音波探傷検査等を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

⑤ 追加保全策の策定

事業者は、遷移温度上昇の予測精度向上の観点、また使用済み試験片の再生技術確立については、現時点で試験片の数量に不足はないものの、データ拡充による長期的な予測信頼性向上に取り組む観点から、国や民間の技術開発、規格基準化に積極的に参画し、実機への適用を検討していくとしている。しかしながら現地調査等では、具体策が未策定であったため、具体的な事業者の取組を追加保全策に含めることとした。

現地調査において、監視試験記録、供用期間中検査記録などから保全状況を確認するとともに、長期の脆化予測評価の信頼性向上策を確認した。しかし、今後の監視試験時期や新しい脆化予測式の適用に関する計画は具体化されていない。この調査結果を受けて事業者は、追加保全策として長期の脆化予測評価の信頼性向上策を追記した。

以上の結果、事業者が行った原子炉容器の照射脆化については、実機の脆化状況の把握と予測評価を踏まえた技術評価が行われ、これに基づく追加保全策を適切に策定していると判断する。

(2) 低サイクル疲労（表３．２－２参照）

プラントの起動や停止などに伴い、原子炉容器等は、大きい温度圧力の変化によって機器の構造不連続部には局所的に大きい応力振幅が生じ、それが繰り返さ

れるとき裂が発生する現象を低サイクル疲労という。

低サイクル疲労によるき裂の発生を防止するために、原子炉容器等は、設計時に想定した評価期間に生じる起動停止などの過渡により定められた設計応力サイクルを考慮しても、疲労き裂が生じないよう設計されている。疲労に対する高経年化技術評価は、これらの機器に対して、供用期間を６０年と仮定した場合の応力サイクルを設定して、更に接液環境の効果を考慮して疲労き裂の発生有無を評価する必要がある。

当該プラントは、事業者が評価を開始した２００３年末時点（運転開始後約２７年）では５８の起動停止を実施しており、事業者はその間の運転実績に基づいて、以下に示す６０年供用時の低サイクル疲労評価を実施し、追加保全策を策定している。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

評価点は、工事計画認可時の評価で疲れ累積係数が大きかった部位を中心に選定されている。原子炉容器では、温度圧力変化により比較的大きな応力が発生する冷却材出入口管台などの構造不連続部や、締め付け力が加わる上鏡フランジ及び胴フランジ（含ボルト）を選定している。また、１次冷却材管、１次冷却材ポンプ等についても疲れ累積係数が大きい部位が選定されている。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

６０年供用時の低サイクル疲労評価に用いる応力サイクルは、運転開始から高経年化技術評価を開始した２００３年末時点までの実績平均発生頻度を求めその頻度が６０年供用時まで続くと想定してサイクル数を評価している。また、これらの部位の内で一次冷却材に接する部位には、「発電用原子力設備に関する環境疲労評価ガイドライン」（平成１４年６月、社団法人火力原子力発電技術協会）に従って、環境中の疲れ累積係数を評価している。

③ 健全性の評価

事業者報告書では、６０年供用時の疲れ累積係数は、全ての評価点で接液環境を考慮しても１以下となったことから、６０年供用時にも低サイクル疲労き裂は発生しないと評価している。

④ 現状保全の評価

耐圧部については計画的な目視点検、超音波探傷検査、浸透探傷試験及び漏

えい検査等を実施しており、非耐圧部についても日常の目視点検を実施しているが、低サイクル疲労き裂の発生事例は無いと報告している。

⑤ 追加保全策の策定

低サイクル疲労き裂については、高経年化対策の観点から留意すべき項目はないが、現状保全に加えて、念のため定期的（10年を超えない期間ごと）に実過渡回数の確認による疲労評価を行うとしている。

現地調査では、例えば原子炉容器について、評価に用いた実過渡実績、環境中疲労評価に係わる環境条件、及び評価点の供用期間中検査記録等を確認した。

以上の結果、原子炉容器等の疲労については、これまでの運転実績に基づいた60年供用時の低サイクル疲労評価が適切に実施されていると判断する。

以上のように、60年供用時にも疲労き裂が発生すると予測される評価点は無く、点検などの追加保全策はないと考えられるが、60年供用時評価の前提である実績過渡頻度は今後変動する可能性があることから、念のため実過渡回数の確認による疲労評価を追加保全策として設定したことは適切と判断する。

(3) 応力腐食割れ

応力腐食割れ（SCC）は、原子炉容器、炉内構造物、配管等において、材料-応力-環境の3要素が重畳する、主として溶接熱影響部及び溶接金属に発生する。

その応力腐食割れの発生時期については、平成17年8月に保安院が公表した「実用炉発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について」の別冊資料「応力腐食割れに係る高経年化対策の在り方」に記載されている。

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）は、しきい照射量を超えると感受性が発現するため、ひび割れ発生の可能性が増大すると考えられる。しかしながら、低炭素ステンレス鋼の粒界型応力腐食割れ（IGSCC）は、運転開始20年以上のデータは乏しいものの、IGSCCの発生は経年化とともに大きく増加する傾向は認められず、寧ろ運転開始から数年以内にも発生する場合があり、必ずしも運転年数との明確な依存性はない。また、600 系ニッケル基合金の応力腐食割れ（NiSCC）の発生については、母材よりも溶接金属の方が可能性は高いと考えられている。

したがって、応力腐食割れに関する高経年化対策としては、審査マニュアルに記載のとおり、国内外の損傷事例の分析、試験研究等の最新技術知見、運転経験等を用いた発生傾向の分析と点検とその頻度を含む現状保全の妥当性評価が必要である。

表3．2－3に、原子炉容器、蒸気発生器、加圧器、ほう酸水注入タンク、配管、弁、炉内構造物、高圧タービン等の応力腐食割れに関する健全性評価、現状保全、追加保全に関する概要を表として取り纏めている。ここでは、原子炉容器を例に審査結果概要を示す。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

事業者は、機能達成に必要な項目（バウンダリの維持）を考慮して主要な部位（上部胴、中間胴、下部胴、冷却材入口・出口管台、炉内計装筒など）に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮に入れた経年劣化事象の抽出を行い表に纏めている。

原子炉容器に対する応力腐食割れの評価点として、インコネル６００合金又はインコネル６９０合金が使用されている冷却材入口・出口管台、蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物を抽出しており妥当なものと判断する。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

温度３６０℃を加速条件とした定荷重応力腐食割れ試験（民間研究）により、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力に依存することが知られている。また、溶存酸素、塩化物イオン等の化学成分及び温度といった環境条件が重要な要因となっている。しかしながら、ＰＷＲの一次系冷却水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度、塩化物イオン濃度を極力低減している。このことから温度が重要な環境要因となり、温度が高いほど応力腐食割れ発生時間が短くなることが知られている。

（炉内計装筒）

最新の技術的知見を踏まえて、上記6箇所の評価点について、温度・応力条件をもとに評価を行った結果、炉内計装筒のJ溶接部の影響を受け高い残留応力が発生しているものと考えられる[6]管内面母材部（インコネル 600 合金）及び建設時において溶接部の表面仕上げ（バフ仕上げ）が行われていない場合の炉内計装筒J

[6] 平成 15 年度「原子力プラント機器材料劣化対策技術に関する報告書」（平成 16 年 6 月、独立行政法人原子力安全基盤機構）（P25）では、500MPa 程度の高い残留応力が発生する可能性があるとされている。

溶接金属部（インコネル６００合金）には、高い残留応力が発生している可能性があり[7]、応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

なお、第２１回定期検査時（２００４年度～）におけるウォータジェットピーニング[8]（応力緩和）施工前の確認として、炉内計装筒の渦流探傷検査を実施した結果、異常のないことを確認している。

（冷却材入口・出口管台・炉心支持金物）

いずれもインコネル６００合金であり、最新の技術的知見を踏まえると応力腐食割れの発生を否定できない。

（蓋用管台及び空気抜用管台）

蓋用管台及び空気抜用管台の材料は、耐食性に優れたインコネル６９０合金を使用しており、温度３６０℃を加速条件とした定荷重応力腐食割れ試験（民間研究）では、約５００MPa の高応力条件下でも応力腐食割れは発生しないという試験結果があり、現時点では応力腐食割れ発生の可能性は低いと評価される。

③ 健全性の評価

（炉内計装筒）

②経年劣化事象の発生又は進展の評価で述べたように炉内計装筒管内面母材部及び炉内計装筒Ｊ溶接金属部（いずれもインコネル６００合金）のいずれの部位にも高い引張残留応力が発生している可能性があり、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。しかしながら、第２１回定期検査時（２００４年度～）に炉内計装筒Ｊ溶接部の管内面母材部にウォータジェットピーニングによる残留応力改善を図っていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考えられる。

炉内計装筒Ｊ溶接部表面については、応力腐食割れ発生の可能性が否定できないため、ウォータジェットピーニングにより応力改善を行う予防保全技術を適用するとしている。

（冷却材入口・出口管台継手・炉心支持金物継手）

いずれもインコネル６００合金であり、最新の技術的知見を踏まえると応力腐食

---

[7] 大飯3号機原子炉容器上蓋制御棒駆動装置取付管台からの漏えい事例において、その発生原因は、溶接部の表面仕上げ(バフ仕上げ)が行われなかったことに起因して、高い引張り残留応力が発生したことにより応力腐食割れが発生した可能性が高いとの調査結果が報告されている。（関西電力のホームページより引用）

[8] ウォータジェットピーニング（WJP）とは、高圧のジェット水が大気中に開放される際に発生するキャビテーションの衝撃圧力によって材料表面を塑性変形させ、圧縮の残留応力を発生させる方法をいう。

割れの発生を否定できない。しかしながら、冷却材入口・出口管台継手・炉心支持金物継手の残留応力は、前述の定荷重応力腐食割れ試験（民間研究）で求められている応力腐食割れ発生領域の応力より低く[9]、現在の知見において応力腐食割れ発生の可能性は低いと評価される。

④ 現状保全の評価

原子炉容器のインコネル６００合金使用部位の応力腐食割れに対しては、保安院指示文書（平成 17・06・10 原院第 7 号 NISA-163a-05-2）に指示されている手法・頻度（超音波探傷検査及びベアメタル検査・供用期間中検査）で検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

また、定期的に漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

⑤ 追加保全策の策定

前述の保安院指示文書に基づく継続的に検査を実施することにより健全性を確認するとともに、国プロジェクト「ニッケル基合金応力腐食割れ進展評価手法の調査研究」や民間の技術開発により得られた知見を踏まえ、き裂発生及び進展評価の予測手法の確立を図るとともに、応力改善などの予防保全技術を確立し、実機適用を推進していくとしている。

以上の結果より、事業者が行った原子炉容器等の応力腐食割れに係るこれまでの発生・進展状況及び対策の実施状況等を踏まえた技術評価及びこれに基づく追加保全策の策定は妥当なものであると判断する。

（4） 絶縁低下

電気計装品の経年劣化事象の主たるものは、電気計装品に使用されている絶縁物の絶縁低下であり、絶縁低下の技術評価例としてケーブルの審査結果を以下に示す。なお、ケーブルは、高圧ケーブル、低圧ケーブル及び同軸ケーブルに大別され、かつ、それぞれ種々なケーブルが使用されており、個々のケーブルの健全性評価、現状保全及び追加保全策に対する審査結果概要を表３．２－４に示す。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

ケーブルは通電部位である導体と大地、あるいは導体と他の導体との電気的

[9] 現地調査等でモックアップ試験から求めた残留応力値を確認

独立性（絶縁性）を確保するために、電気抵抗の大きい絶縁体を介在させているが、この絶縁体が環境（熱・放射線等）、電気的及び機械的な要因で劣化し、電気抵抗が低下することで電気的独立性（絶縁性）を確保できなくなる事象がケーブルの絶縁低下であり、この事象は時間の経過とともに進展する事象である。これらを踏まえ、個々のケーブルごとに最も環境（温度、線量率）が厳しい使用条件を特定し、その箇所のケーブルの絶縁体の絶縁低下を経年劣化事象に対する評価点として抽出しており妥当と判断する。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

事業者は、点検時の絶縁抵抗測定等によりケーブルの絶縁機能の健全性を確認しており、これまで有意な絶縁低下は生じていない状況にある。

しかしながら、ケーブルの絶縁体は、有機物の架橋ポリエチレン等であり、通常運転中は常に熱や放射線に曝されているため、６０年の供用を仮定すると、環境、熱的及び電気的要因により経年劣化が進行して絶縁低下を起こす可能性がある。このためにケーブルの絶縁低下を長期健全性試験により評価しており、経年劣化事象の発生及び進展の評価は妥当と判断する。

③ 健全性の評価

高圧ケーブル等安全系ケーブルは、供用期間中に受ける熱・放射線の影響を考慮しても通電機能等が維持される必要がある。また、これらのケーブルの中には通常運転時の末期に事故時雰囲気環境に曝されたとしても通電機能等が維持される必要のあるものがある。

このため事業者は、通常運転中に受ける熱・放射線を加速付与するとともに必要に応じて事故時雰囲気を模擬した環境にケーブルを曝す社団法人電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という）と同じ手法でケーブルの長期健全性試験を実施し、この結果に基づき、全てのケーブルは６０年間の通常運転及び必要に応じて事故時雰囲気において絶縁性能を維持できると評価している。

当機構は上記の健全性評価について、事業者が実施した長期健全性試験の試験条件が想定した使用条件等と合致または包絡していることを確認しており、評価は妥当と判断する。

④ 現状保全の評価

ケーブルの絶縁特性低下に対する現状保全として、定期的に絶縁抵抗測定等が実施されており、現状保全の評価は妥当と判断する。

⑤ 追加保全策の策定

全てのケーブルについて、現在、国のプロジェクトで実施中のより実機環境を模擬した「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究」の成果を反映し、ケーブルの長期健全性の再評価を実施していくとしていることから、追加保全策の策定は妥当と判断する。

当機構は、現地調査において、長期健全性試験の試験条件が本プラント固有の使用条件を包絡していること、及び高圧ケーブルの絶縁抵抗測定結果等を確認した。

以上の結果より、事業者の行ったケーブル絶縁低下に係る技術評価及びこれに基づく追加保全策は妥当なものであると評価する。

(5) 減肉

美浜3号機は2004年8月に減肉による配管破損事故を起した当該プラントであり、事故対策の一環として系統・配管ごとの減肉の全体分布状況を把握するため、事故後の停止期間（第21回定期検査）時に、減肉が否定できないと評価された箇所や知見拡充等のため選定された箇所等合わせて6,268箇所について肉厚測定が実施され、減肉傾向を評価した上で取替や今後の点検計画が策定されている。同時に、得られた新知見等は従来から整備されていた配管減肉に関する管理指針に反映され、新しい管理指針として運用が図られるとともに管理体制の強化が図られている。

エロージョン・コロージョン及びエロージョンによる減肉についての審査結果概要を表3．2－5に示す。以下に、配管減肉を主体に、容器、熱交換器、弁の例を述べる。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

エロージョン・コロージョンによる配管減肉については、炭素鋼配管のエルボ部、分岐部、レデューサー部等、流れの乱れが起きる箇所、エロージョンによる配管減肉については、ステンレス鋼,低合金鋼及び炭素鋼配管の復水器に繋がる配管の高減圧部等、流速が大きくなる箇所を評価点としているが、さらに、事故対策の

一環として上述のように、他プラントを含めた減肉事象の水平展開等から減肉が否定できないと評価された箇所や知見拡充等のため選定された6,268箇所について超音波を用いた肉厚測定が実施され、これまで傾向監視対象であった「主要点検部位」や「その他部位」の減肉傾向が確認された他、これまで減肉発生部位と認識されていなかった給水ブースターポンプ吐出管等新たに減肉部位として確認されるに至っており、事業者の社内文書「2次系配管肉厚の管理指針」（平成18年3月1日最終改正）に点検部位として加えられる等、配管減肉に対する管理強化が図られている。

なお、配管以外の容器や弁の減肉については、蒸気や高温水が高速で流れる格納容器の配管貫通部、内部流体の流れの乱れがある弁体、弁箱等を評価箇所としている他、熱交換器においてはこれまでに減肉を経験した胴、管支持板等を評価箇所としいる。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

配管減肉では、「流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚計測結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚計測を行い、減肉の有無及び減肉率を判断し、寿命評価を実施する」として、上述の肉厚の管理指針で詳細に測定要領等を規定している。これによれば、2回分の測定値がある場合は前回測定値からの進展量に基づく、ポイントtoポイント法により、3回分の測定値がある場合は最小二乗法により減肉率を算出し、配管の必要最小厚さに到達する時間を評価して次回点検時期や取換時期を決定することとしている。これらについては、主給水系統配管において最小二乗法による評価が適用されている例を「肉厚測定部点検結果整理票」により確認した。これらの進展評価は NISA 指示文書（NISA-163a-05-1）や日本機械学会配管減肉に関する規格（2005 年版）に照らして妥当である。

原子炉格納容器の配管貫通部については配管同様、肉厚計測により減肉率を予測し、管理･保全を実施していくとしている、また、熱交換器、弁については、いずれも定期的な分解点検時に目視により減肉の有無が確認されていることから妥当と判断する。

③ 健全性の評価

配管減肉については、減肉が否定できないと評価された箇所や知見拡充等のため選定された6,268箇所について肉厚測定が実施され、全系統･配管の減肉の

全体分布状況が把握されている。その結果、主蒸気系統配管では減肉が見られなかったものの、主給水系統、抽気系統などの「主要点検部位」に加えて従来は減肉傾向が知られておらず「その他」に分類されていたグランド蒸気系統、ドレン系統、湿分分離器ドレンポット及び給水ブースターポンプ吐出管で減肉が確認され、また、管理対象外としていた小口径配管でも小さい減肉率ながら減肉が確認され、これらは管理対象として追加された。このように、超音波を用いた肉厚計測の全箇所実施により緩やかに進行する減肉についても傾向を管理することが出来るとしている。

なお、エロージョンによる減肉については、ステンレス鋼配管及び低合金鋼配管に対する肉厚測定の結果、有意な減肉は見られなかったとしている。また、炭素鋼配管には高減圧部に該当する箇所が無いため、エロージョン発生の可能性は無いとしている。

減肉傾向の監視に関しては、上述の「2次系配管肉厚の管理指針」の他、主給水系統及びＮ０．６ヒータドレン系統における、配管肉厚測定実績データを確認するとともに、減肉率と予寿命評価の一例をチェックし、妥当であることを確認した。

原子炉格納容器の配管貫通部のうち、蒸気発生器ブローダウンライン貫通部の炭素鋼については、下流近傍の肉厚測定結果から僅かな減肉の進展を認めているが、急激な進行は無いと評価し、他のステンレス鋼製貫通部のエロージョンについては、高減圧部に該当せずその可能性は無いと評価しているが、いずれも測定結果に基づいていることから、それらの評価結果は適切であると判断する。

熱交換器や弁については、これらの機器は定期的に開放され、内部点検がなされて、健全性が評価されており妥当と判断する。

④ 現状保全の評価

配管減肉管理については、上記の健全性評価結果に基づき、計算必要厚さを下回っていた箇所及び必要最小厚さに到達するまでの余寿命が次回点検時で5年以内と評価された箇所等、合計８６箇所が交換されている。大部分が炭素鋼からステンレス鋼へ取替られたことを、「美浜3号機　配管肉厚測定結果表」により確認した。また、今後の点検計画については、「美浜3号機　中期点検計画」により一部確認した。

今回実施された全箇所の肉厚計測の実施結果で得られた管理対象部位の追加、点検要領の精緻化等の新しい知見等は、前述「2次系配管肉厚の管理指針」

に反映されている他、「原子力検査データ処理システム（NIPS）」[10]が構築されており、本システムを用いた管理を徹底するとしている。「2次系配管肉厚の管理指針」や「NIPS システム」については現地調査時にその概要、機能等確認し、管理強化がなされていることを確認した。

原子炉格納容器の配管貫通部については、配管と同様に肉厚計測を実施し、上記配管肉厚の管理指針に基づく管理・保全を実施していくとしていることから、妥当と判断する。

他の機器については、前項でも述べたように、定期的に開放され内部点検が行われている現状保全は適切なものであり、妥当と判断する。

⑤ 追加保全策の策定

「今後も新たな管理指針に基づいた検査、取替を継続し、減肉傾向が比較的小さい配管についても知見拡充も含めた肉厚計測を行い、データの蓄積を図りつつ、NIPS システムによる管理の徹底及び改善を継続していく。」としている。更に、「現在、配管減肉に関する規格化が進められている社団法人日本機械学会での検討結果やプラントの検査結果による知見を踏まえた管理指針の改定を継続する他、肉厚実測データを踏まえ耐震安全性評価を適用した一部炭素鋼配管については、今後の減肉進展実測データを反映した耐震安全性評価を行う。」とした短期に実施する長期保全計画を掲げており、高経年化において面的、量的な拡大が予想される配管減肉事象に対する対応として妥当と判断する。

原子炉格納容器の配管貫通部については、上述の配管と同一の長期保全計画を策定しており短期（5年以内）に実施するとしている。

熱交換器や蒸気発生器には追加保全策はないとしているが、グランド蒸気復水器については、構造上、開放点検が出来ないことから、適切な時期（5年以内）に肉厚計測を実施するとしており妥当である。

残りの機器については、追加保全項目は記述されていないが、上述の配管減肉管理の強化や、知見等の蓄積に応じて見直していくことは重要である。

---

[10] NIPS(Nuclear Inspection data Processing System)ともいう。配管の減肉管理のツールであり、系統における管理対象箇所の種類、位置関係の図面（スケルトン図）による視覚的な管理、計測データに基づく余寿命計算

(6) コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下
(含む鉄骨構造の強度低下等)

コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下、鉄骨構造の強度低下についての審査結果を表3．2－6(1)(2)に示した。以下に、コンクリートの強度低下の審査例として中性化による強度低下を、鉄骨構造の強度低下の審査例として腐食による強度低下について述べる。

① 経年劣化事象に対する評価点の抽出

・コンクリートの中性化による強度低下

中性化は、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度、塗装等の仕上げの有無等により進展が変化する。よって、これら環境条件等に着目し、複数箇所で最も中性化の影響があると考えられる箇所を評価点として選定する必要がある。

二酸化炭素濃度、温度、相対湿度、塗装等の仕上げの有無に着目し、屋内では、仕上げの無い箇所として外部遮へい壁(屋内面)を評価点とし、仕上げの有る箇所として格納容器施設基礎(屋内面)を選定している。また、屋外では基本的に弾性吹付塗装が実施されており、環境条件はほぼ同一であるとして外部遮へい壁(屋外面)の4方位を評価点として選定していることは妥当である。

・鉄骨の腐食による強度低下

鉄は一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。海塩粒子等により、腐食が促進され、さらに腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性があるとし、原子炉補助建屋(燃料取扱建屋)鉄骨部、タービン建屋鉄骨部及び特高開閉所鉄骨部を評価対象としていることは妥当である。

② 経年劣化事象の発生又は進展の評価

・コンクリートの中性化による強度低下

中性化がコンクリートの内部に進行し、鉄筋に保護膜を作るアルカリ性が失われると、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。鉄筋の腐食による体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるとした評価は妥当である。

・鉄骨の腐食による強度低下

鉄は一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する、海塩粒子等により、腐食が促進され、さらに腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性があるとした評価は妥当である。

③ 健全性の評価

・コンクリートの中性化による強度低下

健全性の評価では、岸谷、森永の中性化予測式により、現状の中性化深さの測定結果と推定値を比較し、現状の中性化深さの実測値が妥当であることを確認した上で、これら推定式を用いた60年時点の推定が安全側評価となることを確認している。

その上で、これら予測式に実測値に基づく$\sqrt{t}$式も合わせて採用し、運転開始後60年時点の中性化深さの推定値を求めている。

その結果、屋内の場合、外部遮へい壁（屋内面）で運転開始後60年時点の中性化深さの推定最大値は3．7cmとなり鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ7．0cmを下回ること、原子炉格納施設基礎で中性化深さの推定最大値は4．1cmとなり鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ10．0cmを下回ること、また、屋外の場合、外部遮へい壁（屋外面）で運転開始後60年時点の中性化深さの推定最大値は、2．8cmとなり鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ8．0cmを下回ることから、中性化による強度低下は長期健全性評価上問題とはならないとの評価は妥当と判断する。

・鉄骨の腐食による強度低下

腐食による強度低下に関する健全性評価では、初めに（社）日本建築学会「建築物の耐久計画に関する考え方」に基づき塗装と鉄骨の耐用年数を算定し推定している。全面塗装後の推定耐用年数は、32年～39年程度であるため運転開始時の状態では保全が必要となるが、定期的な目視点検により、鉄骨の強度低下につながる塗装等の劣化等が見られた場合は塗装の塗替えを実施するとしていること、また現状の目視点検で強度低下につながるような鋼材腐食が認められないとしており、妥当と判断する。

④ 現状保全の評価

・コンクリートの中性化による強度低下

コンクリートの中性化による強度低下に関しては、定期的に屋内、屋外ともコンクリート表面のひび割れ、塗装の劣化等の目視点検を実施し、強度に支障をきたす可能性があるような有害な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施しているとしており、妥当と判断する。

・鉄骨の腐食による強度低下

鉄骨の腐食による強度低下に関しては、定期的に目視点検を実施し、強度に

支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食がないことを確認し、もし強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食につながる塗装の劣化等が認められた場合には、塗装の塗替え等を行うとしており、妥当と判断する。

⑤ 追加保全策の策定

・コンクリートの中性化による強度低下

コンクリートの強度低下に関しては、現状保全に加えて、今後はリバウンドハンマー（シュミットハンマー）による非破壊試験を定期的に実施すること等により、急激な経年変化が生じていないことを確認するとしており、妥当と判断する。

・鉄骨の腐食による強度低下

上記の健全性評価結果から、鉄骨の腐食による強度低下に関する追加保全策はなしとしたことは妥当と判断する。

なお、コンクリートに関する他の劣化事象（熱による強度低下、放射線照射による強度低下、塩分浸透による強度低下、アルカリ骨材反応による強度低下、熱による遮へい能力低下）の評価についての審査結果を表3．2－6（1）（2）に示す。

(7) その他の経年劣化事象

事業者は、前記のうち(1)～(6)の経年劣化事象について、(1)～(6)に記述した以外の機器・構造物に対する健全性評価等を実施するとともに、下記の経年劣化事象についても関連する機器・構造物の健全性評価等を実施している。

その他の経年劣化事象については、添付資料－1「機器別の着目すべき経年劣化事象の抽出まとめ」で評価の概要の中でも記載している。

なお、当機構は、添付資料－2「標準審査要領に基づくチェックリスト」(例)に示すようにチェックリストを用いて、全ての機器、原子炉機器で想定される全ての経年劣化事象(その他の経年劣化事象)について漏れなく、標準審査要領に従い、評価を行い精査しており、その評価結果は妥当なものであると判断する。

① 1次冷却材管の熱時効

② 機械設備(ポンプ、熱交換器、容器等)を中心とした、孔食、隙間腐食、全面腐食、腐食、摩耗、疲労割れ(高サイクル疲労、熱疲労)、へたり、クリープ、中性子吸収能力低下、性能低下、支持機能低下、基礎ボルト樹脂の劣化

③ 電気・計装設備(モータ、電源設備、電気ペネトレーション、計測制御設備)を中心とした特性低下、固着、気密性の低下

④ コンクリートの強度低下(熱、放射線照射、塩分浸透、アルカリ骨材)、コンクリートの遮へい能力低下(熱))

表3．2－1　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（中性子照射脆化）

経年劣化事象	評価対象機器	健全性評価	現状保全	追加保全策
中性子照射脆化	原子炉容器（RV）	遷移温度域 JEAC4201-2004 の予測式による関連温度の上昇量は、3 回の監視試験による関連温度の上昇を全て上回っている。この予測式に基づいて、60年供用時までの関連温度の上昇を予測し、JEAC4206-2004 に基づいて健全性評価を行っている。健全性評価では大きな欠陥を想定するが、供用期間中検査結果では有意な欠陥は見つかっていない。当機構は事業者が最新の規格に基づき正しく評価していることを確認した。 上部棚温度域 上部棚吸収エネルギーを JEAC4201-2004 に従って予測し、60年供用時にも、JEAC4206-2004 の上部棚破壊靭性のスクリーニング値である68J を上回るとしている。 当機構は、事業者が最新の規格基づき正しく評価を行い、60年供用時にも上部棚破壊靭性は十分高く、健全性は確保されることを確認した。	監視試験を実施していくことで、脆化傾向を把握するとともに、供用期間中検査で体積検査を実施し、有害な欠陥の無いことを確認するとしている。 当機構の見解として、長期供用時の予測についてはデータによる裏付けを行うための施策が必要であり、それらを通して脆化予測の精度を向上することが望まれる。	高経年化への対応として、関連温度の上昇については脆化予測式の精度向上の観点から、また、使用済試験片の再生技術確立については、現時点で試験片の数量に不足はないものの、データ拡充による長期的な予測信頼性向上に取り組む観点から、国や民間の技術開発、規格基準化に積極的に参画し、最新知見による脆化予測式で評価を行うとともに、従来の予測と大幅に異なる場合は再生試験片の装荷なども含めて、実機への適用を検討していくとしている。 当機構はこれらの対応が妥当であると判断する。

表3．2－2（1）　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（疲労）

経年劣化事象	評価対象機器		健全性評価		現状保全	追加保全策
疲労 （低サイクル疲労）	原子炉容器	入口管台	0.043/0.000	報告書によれば、プラントの起動・停止等の過渡実績頻度に基づいた60年供用時の応力サイクルを設定し、工事計画認可時の評価点の累積疲れ係数を算出している。 また、一次冷却材に接液する部位については、接液環境の影響について環境疲労評価ガイドラインに従って算出している。左記は工事認可ベース／環境中の60年時点の疲れ累積係数である。全ての評価点で疲れ累積係数は1以下であり、60年供用時にも疲労き裂は発生しない。これらの規格やガイドラインを用いた評価は適切で、評価プロセスは妥当と判断する。 なお、非耐圧部材である容器のクラッド溶接は、評価されていない。	報告書によれば、各機器に定めた頻度で定期的に目視点検や超音波探傷検査で有害な欠陥の無いことを確認している。 評価の結果、60年供用時の疲れ累積係数は全て1以下と評価されており、現状保全を変更する必要はないとの評価は妥当と判断する。	報告書は、高経年化対策上、追加する項目は無いが、現状保全に加えて、念のため定期的（10年を超えない期間ごと）に実過渡回数に基づいた疲労解析を今後も継続して実施するとしている。左記の結果は過渡実績に基づく予測評価であるため、今後も過渡実績をフォローし評価を継続することは妥当と判断する。
		出口管台	0.043/0.000			
		蓋用管台	0.000/0.000			
		炉内計装筒	0.000/0.000			
		上部蓋フランジ、上部胴フランジ	0.009/-			
		下部胴・下部鏡接続部	0.005/-			
		炉心支持金物	0.000/0.000			
		スタッドボルト	0.333/-			
	加圧器	スプレイライン用管台	0.018/0.334			
		サージ用管台	0.033/0.073			
	原子炉格納容器	抽出ライン貫通部	0.222/－			
		主蒸気ライン貫通部	0.005/－			
		主給水ライン貫通部	0.153/－			
	1次冷却材ポンプ	脚付根部	0.072/0.037			
		吐出ノズル	0.193/0.396			
		吸込ノズル	0.000/0.000			
	熱交換器	抽出水再生クーラ	0.048/0.369			
		余熱除去クーラ	0.072/0.323			
		蒸気発生器管板廻り	0.322/0.101			
		蒸気発生器給水入口管台	0.150/0.357			

表3．2－2（2）　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（疲労）

<table>
<tr><th>経年劣化事象</th><th colspan="3">評価対象機器</th><th>健全性評価</th><th>現状保全</th><th>追加保全策</th></tr>
<tr><td rowspan="16">疲労
（低サイクル疲労）</td><td rowspan="10">配管</td><td rowspan="2">余熱除去系統出口配管</td><td>余熱除去ポンプ入口弁上流</td><td>0.001/0.001</td><td rowspan="16">報告書によれば、プラントの起動・停止等の過渡実績頻度に基づいた60年供用時の応力サイクルを設定し、工事計画認可時の評価点の累積疲れ係数を算出している。
また、一次冷却材に接液する部位については、接液環境の影響について環境疲労評価ガイドラインに従って算出している。左記は工事認可ベース／環境中の60年時点の疲れ累積係数である。全ての評価点で疲れ累積係数は1以下であり、60年供用時にも疲労き裂は発生しない。これらの規格やガイドラインを用いた評価は適切で、評価プロセスは妥当と判断する。
なお、非耐圧部材である容器のクラッド溶接は、評価されていない。</td><td rowspan="16">報告書によれば、各機器に定めた頻度で定期的に目視点検や超音波探傷検査で有害な欠陥の無いことを確認している。
評価の結果、60年供用時の疲れ累積係数は全て1以下と評価されており、現状保全を変更する必要はないとの評価は妥当と判断する。</td><td rowspan="16">報告書は、高経年化対策上、追加する項目は無いが、現状保全に加えて、念のため定期的（10年を超えない期間ごと）に実過渡回数に基づいた疲労解析を今後も継続して実施するとしている。左記の結果は過渡実績に基づく予測評価であるため、今後も過渡実績をフォローし評価を継続することは妥当と判断する。</td></tr>
<tr><td>同弁下流格納容器貫通部上流</td><td>0.002/0.008</td></tr>
<tr><td colspan="2">加圧器サージ配管</td><td>0.003/0.031</td></tr>
<tr><td colspan="2">加圧器スプレイ配管</td><td>0.058/0.970</td></tr>
<tr><td colspan="2">主給水系統配管</td><td>0.007</td></tr>
<tr><td rowspan="6">1次冷却材管</td><td>ホットレグ</td><td>0.001/0.001</td></tr>
<tr><td>クロスオーバレグ</td><td>0.001/0.006</td></tr>
<tr><td>コールドレグ</td><td>0.001/0.001</td></tr>
<tr><td>加圧器サージライン用管台</td><td>0.016/0.124</td></tr>
<tr><td>安全注入系ライン用管台</td><td>0.013/0.064</td></tr>
<tr><td>化学体積制御系ライン用管台</td><td>0.005/0.052</td></tr>
<tr><td rowspan="4">弁</td><td colspan="2">余熱除去ポンプ入口弁</td><td>0.005/0.093</td></tr>
<tr><td colspan="2">抽出水第1しゃ断弁</td><td>0.025/0.348</td></tr>
<tr><td colspan="2">原子炉容器連絡逆止弁</td><td>0.007/0.084</td></tr>
<tr><td colspan="2">加圧器補助スプレイライン逆止弁</td><td>0.009/0.057</td></tr>
<tr><td rowspan="4">炉内構造物</td><td colspan="2">上部炉心支持柱</td><td>0.003/0.023</td></tr>
<tr><td colspan="2">上部炉心支持板</td><td>0.001/0.001</td></tr>
<tr><td colspan="2">下部炉心支持柱</td><td>0.002/0.022</td></tr>
<tr><td colspan="2">下部炉心支持板</td><td>0.005/0.039</td></tr>
</table>

表3．2－3（1） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
インコネル600合金使用部位の応力腐食割れ	原子炉容器	炉内計装筒内面（母材）[11]	炉内計装筒のＪ溶接部管内面の残留応力は最大約 500MPa の残留応力[12]が発生しており、応力腐食割れ発生の可能性は否定できないことから、予防保全としてウォータジェットピーニング（応力緩和）を第 21 回定期検査時（2004 年度～）に実施していることから、応力腐食割れ発生の可能性は小さいとしており妥当。	保安院の指示文書[13]に基づき供用期間中検査時の超音波探傷検査及びベアメタル検査を行い、有意な欠陥がないことを確認しており妥当。 なお、ピーニング施工前に渦流探傷検査で異常のないことを確認している。また、定期的に漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認している。	保安院指示文書に基づく継続的な検査の実施により健全性を確認していくとともに、国プロジェクト[14]や民間の技術開発より得られた知見を踏まえ、き裂発生及び進展評価の予測手法の確立を図るとともに応力改善等の予防保全技術を確立し、実機適用を推進していくとしており妥当。
		炉内計装筒外面（Ｊ溶接部）	溶接部の表面仕上げ（バフ仕上げ）が行われていない場合には、応力腐食割れの可能性は否定できないことから予防保全技術の実機適用を推進していくとしており妥当。	同上（妥当） （第 14 回（1994～1995 年度）、第15回定期検査（1996年度）の目視検査異常は認められず。代表プラントにおいてＵＴ検査（1992 年度）で異常は認められず。）	
		冷却材出口管台継手[15]	炉内計装筒に比べると残留応力は低く応力腐食割れが生じるのは、更に長時間運転後であるとする評価は追加保全策と相まって妥当。	同上（妥当） （第14回（1994～1995年度）、第17回（1999年度）及び第20回定期検査（2003年度）のUT検査、PT検査で異常は認められず。）	
		冷却材入口管台継手	温度が低く、応力腐食割れ発生の可能性は低いとしているが、追加保全策と相まって妥当。	同上（妥当） （第10回（1989年度）、第18回（2000年度）及び第19回定期検査（2001 年度）の UT 検査、PT検査で異常は認められず。）	

[11] 2003 年 4 月、米国 South Texas 発電所において、炉内計装筒から漏えいが検出されたが、原因は建設時の溶接欠陥が起点となり貫通欠陥となったと報告されている。

[12] 国の安全研究「原子力プラント機器材料劣化対策技術に関する事業報告書」P25 より引用

[13] 供用期間中検査時の超音波探傷検査及びベアメタル検査(平成 17･06･10 原院第 7 号 NISA-163a-05-2)、 平成 17 年 6 月 15 日までは原院第 2 号 NISA-163a-03-1 により実施

[14] 「ニッケル基合金応力腐食割れ進展評価手法の調査研究」

[15] 2000 年 10 月、米国 V.C. Summer 発電所において、当該管台と1次冷却材管のインコネル溶接部にき裂が発見されたが、これは建設時の補修の繰返しにより、引張残留応力が高くなったため発生した内面側からの応力腐食割れと報告されている。

表3．2－3（2） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
インコネル 600 合金使用部位の応力腐食割れ	原子炉容器	炉心支持金物（母材）	低温度、低応力であり応力腐食割れ発生の可能性は低いとしているが追加保全策と相まって妥当。	保安院の指示文書に基づき供用期間中検査時の超音波探傷検査及びベアメタル検査を行い、有意な欠陥がないことを確認している。 なお、第 14 回定期検査（1994～1995 年度）の目視検査で異常は認められず。	国プロジェクトや民間の技術開発より得られた知見を踏まえ、き裂発生及び進展評価の予測手法の確立を図ると共に応力改善等の予防保全技術を確立し、実機適用を推進していくとしており妥当。
		炉心支持金物継手	低温度、低応力であり応力腐食割れ発生の可能性は低いとしているが追加保全策と相まって妥当。	同上（妥当）	
	蒸気発生器	管板 1 次側肉盛部	取替前の SG にも発生していないことから、発生の可能性は小さいとする評価は妥当。	管板 1 次側肉盛の定期的な目視点検を実施しており妥当	評価上厳しい原子炉容器の 600 合金使用部位の検査結果により保全を検討していくとしており妥当。
インコネル690合金の応力腐食割れ	蒸気発生器	管板拡管部及び拡管境界部	インコネル 690 合金採用による耐応力腐食割れ性向上及びローラ拡管から液圧拡管採用により従来のローラ拡管から残留応力低減を図っていることから応力腐食割れ発生の可能性は低いとする評価は妥当。	定期的な渦流探傷検査を実施し健全性を確認しており妥当	現状保全に新たに追加すべき保全策はないとする評価は妥当
		曲げUベンド部	インコネル 690 合金採用による耐応力腐食割れ性向上及び応力除去焼鈍による残留応力低減化を図っていること、伝熱管の内圧及び熱伸び差による作用応力も最大で約 13kg/mm^2 であり、応力腐食割れ発生の可能性は低いとする評価は妥当		
ステンレス鋼の応力腐食割れ	加圧器本体	計測用管台	Surry 発電所1号機の加圧器上部水位計ノズルから漏えい[16]が発見されたが、この原因は水質である。当該プラントの水質は水素注入や脱塩処理を実施しており、割れ発生の可能性はないとする評価は妥当	定期的な漏えい試験を実施しており妥当	

[16] 1995 年 9 月、米国 Surry 発電所1号機の定期検査時の目視点検で 2 個の計測管台（加圧器上部水位計ノズル）から漏えい[16]が発見された。当該溶接部は、316系ステンレス鋼製ノズルと加圧器内面のステンレス鋼クラッド間の割れであり、これは局所的に悪化した水質が原因と推定された。

表3．2－3（3） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
インコネル600合金溶接金属の応力腐食割れ	加圧器本体	サージ用管台	2003年9月、敦賀2号機の加圧器逃がし弁用管台及び安全弁用管台において、インコネル600合金接液部に応力腐食割れが発生している。当該部位の温度･応力条件を評価した結果、応力が比較的小さいが高温であることから長期的には応力腐食割れ発生の可能性は否定できないとする評価は妥当。	定期的にUT検査、PT検査及びベアメタル検査を実施し有意な欠陥のないことを確認している。また、定期的に漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認しており妥当。	保安院の指示文書[6]に基づき供用期間中検査時の超音波探傷検査及びベアメタル検査を行い、有意な欠陥がないことを確認しており妥当。
粒界型応力腐食割れ	ほう酸注入タンク	温度計管台	H.B.Robinson発電所で発生したほう酸注入タンク管台溶接部の応力腐食割れ[17]は、典型的な粒界型応力腐食割れであり、第14回定期検査時（1994～1995年度）に炭素含有量を抑制した材料の管台に一式交換している。このためPWR一次系水質環境下では応力腐食割れ発生の可能性はないとの評価は妥当	定期的に漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認しており妥当。	現点検は適切と判断しており妥当
貫粒型応力腐食割れ	燃料取替用水タンク	胴板等耐圧構成品	長期健全性を確保のため第19回定期検査時（2001年度）にタンク一式取替を実施している。炭素含有量の少ない材料を用いて溶接による鋭敏化を抑制した耐応力腐食割れ性向上を図っており応力腐食割れ発生の可能性は小さい。但し、塗膜の剥離等により海塩粒子が付着した場合は応力腐食割れ発生の可能性は否定できないとする評価は妥当	巡視点検時等に目視にて塗膜の健全性を確認しており妥当	現状保全は適切と判断しており妥当
	復水タンク	胴板等耐圧構成品			
粒界型応力腐食割れ	ほう酸フィルター	胴等耐圧構成品	304系ステンレス鋼を用いているため溶接部は内面からの応力腐食割れの発生が考えられるが、温度条件が約75℃と低いことから現時点の知見では応力腐食割れ発生の可能性はないとの評価は妥当	定期検査毎の漏えい確認で健全性の確認を行うこととしており妥当	現状保全に新たに追加すべき保全策はないとする評価は妥当

表3．2－3（4） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
内面からの応力腐食割れ	余熱除去系統配管	母管	通常運転時に使用されず閉塞滞留部となり溶存酸素が高くなる可能性があり、一次冷却材の流れの影響により高温となる可能性がある部位については応力腐食割れ発生の可能性を否定できない。当該部は SUS316 系であるものの、接液表面硬化層に起因する応力腐食割れ発生の知見があり、国プロジェクト等の知見が今後の保全に反映すべきものであるか検討するとの評価は妥当	定期的に溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施するとしており妥当	一次冷却材の流れの影響により高温となる可能性がある部位については応力腐食割れ発生の可能性を否定できないため、国プロジェクト等の知見が今後の保全に反映すべきものであるか検討するとの評価は妥当
外面からの応力腐食割れ	格納容器内部スプレイ配管、第5抽気系統配管、補助給水系統配管等	母管	屋外に設置されている配管の場合、外面に防水措置（保温）が施されているため直接風雨にさらされるが、防水措置が不十分であると雨水等が浸入することにより大気中の海塩粒子が配管外面に直接付着する可能性がある。また、外気が直接流入する部分の配管について、塩分付着量を測定し応力腐食割れについて問題ないことを確認している。塩化ビニールテープの熱分解による応力腐食割れについては、当該部分の浸透探傷試験を実施し、手入れ後再度検査で健全性を確認するとしており妥当	定期的に目視確認により屋外に設置している配管の防水措置の健全性を確認しており妥当	定期的に目視確認により屋外に設置している配管の防水措置の健全性を確認するとしており妥当
外面からの応力腐食割れ	海水ポンプ潤滑水ストレーナ出口逆止弁	弁箱、弁蓋	屋外に設置されているため直接風雨にさらされるが、防水措置が不十分であると雨水等が浸入することにより大気中の海塩粒子が配管外面に直接付着する可能性があるとの評価は妥当	定期的に防水措置の健全性を目視確認及び分解点検時に弁の外表面の目視点検を実施しており妥当	なし

表3．2－3（5） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
応力集中部の応力腐食割れ	蒸気加熱弁	弁体ボルト	応力集中部を有している弁体ボルトは応力腐食割れが発生する可能性があるものの、12%Cr鋼ステンレス鋼に第18回定期検査時（2000年度から2001年度）に取替えるとともに、過大な応力とならないように締付時トルク管理を実施していること、及び直接的には蒸気流れ内にないことから応力腐食割れ発生の可能性はないとの評価は妥当	弁体取替時に目視検査により応力腐食割れのないことを確認しており妥当	なし
ステンレス鋼の照射誘起応力腐食割れ	炉内構造物	バッフルフォーマボルト等	海外トラブル事例があり、中性子照射量、温度及び応力が比較的高いバッフルフォーマボルトについては、現状では異常は認められないものの運転の長期化を考慮すると照射誘起応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。しかしながら、炉内構造物点検評価ガイドラインに基づく評価によると運転時間29万時間（照射量$7\times10^{22}n/cm^2$）までは、IASCCによる損傷の可能性は小さいが、運転開始後60年時点では推定最大中性子照射量は$1\times10^{23}n/cm^2$となりボルト損傷の可能性は否定できない。しかしながら、ボルト本数の約7割が損傷した場合でも健全性の確保は可能であるとする評価に対して60年時点での予想損傷ボルト数はこれより少ないとの評価は妥当	超音波探傷検査を実施しており妥当（至近では第14回定期検査（1994年～1995年、1/2炉心））	炉内構造物点検評価ガイドライン、維持規格の活用により、検査や取替による今後の保全の検討を進めていく。また、国の試験研究、民間の技術開発、規格基準化に積極的に参画し、実機保全への適用を検討していくとしており妥当
低合金鋼の応力腐食割れ	高圧タービン	翼環ボルト	翼環ボルトは低合金鋼（SCM435）を使用しており、ネジ部の応力集中部は発生応力が高く、高温の湿り蒸気雰囲気下にあることから、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。しかしながら、締付管理により過大な応力とならないよう管理している。また、湿り度の高いボルトについては、翼環取替と併せて耐応力腐食性の高いステンレス鋼に取替え同様に締付管理を実施していることから現時点の知見としていずれの応力腐食割れも発生の可能性はないとする評価は妥当	定期的に目視検査を実施するとともに、必要に応じて超音波探傷検査を実施しており妥当	低合金鋼の応力腐食割れに対しては定期的な目視検査を、ステンレス鋼に対しては現状保全に追加すべき項目ないとしており妥当

表3．2－3（6） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
低合金鋼の応力腐食割れ	高圧タービン	車軸	車軸には約 550MPa の低降伏応力の低合金鋼が用いられているが、この程度の応力では定荷重応力腐食割れ試験において応力腐食割れは発生しないとの評価結果が得られており妥当なものと判断	定期的に目視検査を実施するとしており妥当	現状保全に追加すべき項目ないとしており妥当
	低圧タービン	車軸	約 4.5 万時間運転した伊方1号機で、低圧タービン第2円板翼溝部に割れ発見された。これは湿り蒸気雰囲気中での応力集中による局部応力の高い部分に発生した応力腐食割れと考えられている。当該車軸は一体型へ取替えられ、材料として応力感受性の低い低降伏応力（620MPa 級）を用いていることから現在の知見において、応力腐食割れ発生の可能性はないとする評価は妥当	定期的に目視検査を実施するとしており妥当	現状保全に追加すべき項目ないとしており妥当
低合金鋼の応力腐食割れ	タービン動補助給水ポンプタービン	円板	最大応力の発生する部位は応力集中が生じる円板の翼溝部であるが、この部位の発生応力は約 100MPa 程度である。また、キー溝部に過大な応力が発生しないテーパ形状による嵌め合い構造となっている。さらに、本タービンの運転時間は60年間で約 180 時間と短い。以上の点から応力腐食割れ発生の可能性はないとする評価は妥当	定期的に目視検査で円板への動翼取り付け状況やキー溝に異常のないことを確認しており妥当	現状保全に追加すべき項目ないとしており妥当
一次冷却系統に接する計測配管応力腐食割れ	プロセス計測制御装置	計装配管	一次冷却系統の計装配管材料としてSUS316 系が使用されているが高温水中条件下での定荷重応力腐食割れ試験結果から、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。 但し、計装配管は自然放熱により温度が低いことから、計装取出配管から計器元弁までの溶接部、計器元弁と計装配管部の溶接部については応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。	計装配管接部は定期的に一次冷却材系統における漏えい試験時に健全性の確認を実施しており妥当	当該部は SUS316 系であるものの、接液表面硬化層等に起因する応力腐食割れ発生の知見については、国プロジェクト等の知見から今後の保全に反映すべきものがあるか検討するとの評価は妥当

表3．2－3（7） 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（応力腐食割れ）

経年劣化事象	評価対象機器（評価部位）		健全性評価	現状保全	追加保全策
キャノピーシールの応力腐食割れ	原子炉容器上蓋付属設備	圧力ハウジングキャノピーシール	原子炉容器上蓋取替に伴い、応力腐食割れ対策として 316 系ステンレス鋼を採用している。臨界腐食電位とキャノピーシール部の腐食電位を比較すると上部･中間キャノピーシールともに腐食電位が臨界電位を上回ることはない。さらに、窒素パージ等により、溶存酸素の低減を図っており、応力腐食割れ発生の可能性は小さいとする評価は妥当	上部･中間キャノピーシールともに定期検査毎の漏えい試験により健全性の確認を行っており妥当	当該部は SUS316 系であるものの、接液表面硬化層等に起因する応力腐食割れ発生の知見については、国プロジェクト等の知見から今後の保全に反映すべきものがあるか検討するとの評価は妥当
塩化物イオンによる応力腐食割れ	廃液蒸発装置	蒸発器胴板等	蒸発器の内部流体であるほう酸廃液には塩化物イオンが含まれている。蒸発器内部では、廃液が蒸発濃縮することにより、塩化物イオン濃度が上昇することとなり、温度も約 100℃となることから応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。しかしながら、廃液のりん酸塩処理により応力腐食割れを抑制しており、これまでの目視検査で有意な割れは認められていないとする健全性評価は妥当	定期的に蒸発胴等の内面目視検査及び漏えい試験により確認しており妥当	定期的に内面目視検査及び伝熱管の漏えい試験により確認しており妥当

表3．2－4　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（絶縁低下）

経年劣化事象	評価対象機器		健全性評価	現状保全	追加保全策
絶縁低下	高圧ケーブル	難燃高圧 CSHV ケーブル	定期的に絶縁抵抗測定等が実施されており妥当である。	定期的に絶縁抵抗測定等が実施されており妥当である。	現在、当機構で実施している国プロの成果を反映し、ケーブルの長期健全性の再評価を実施するとしており妥当である。
	低圧ケーブル	KK ケーブル	６０年以上の運転と設計想定事故を想定した電気学会推奨案に基づく長期健全性試験により６０年間の健全性が評価されており妥当である。		
		難燃 PH ケーブル			
		SHVV ケーブル	６０年以上の運転を想定した電気学会推奨案に基づく長期健全性試験により６０年間の健全性が評価されており妥当である。		
		VV ケーブル			
	同軸ケーブル	三重 同軸ケーブル	６０年以上の運転を想定した電気学会推奨案に基づく長期健全性試験により６０年間の健全性が評価されており妥当である。		
		難燃三重 同軸ケーブル2	６０年間以上の運転と設計想定事故を想定した電気学会推奨案に基づく長期健全性試験により６０年間の健全性が評価されており妥当である。		

表3．2－5（1）　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（減肉）

経年劣化事象	評価対象機器		健全性評価	現状保全	追加保全策
減肉 （エロージョン・ コロージョン）	配　管	炭素鋼配管	2004 年 8 月に復水配管流量計オリフィス下流部で配管減肉破損事故を起こした当該プラントであることから、停止期間（第 21 回定期検査）時に NISA 指示文書（NISA-163a-05-1）に示された検査対象箇所を踏まえて選定した減肉の発生が否定できない箇所に、さらに他プラントからの水平展開や知見拡充の観点から選定された箇所を加えた 6268 箇所について肉厚を計測し、系統・配管毎の減肉の全体分布を把握している。 その結果、主蒸気系統配管では減肉は見られなかったが、主給水系統、第１～第４抽気系統等配管の「主要点検部位」並びに従来は減肉傾向が知られておらず「その他」に分類されていたグランド蒸気系統、ドレン系統等配管で減肉が確認されたことから、必要最小肉厚に達するまでの時間が、次回定検時で５年を下回る 86 箇所が全て取替えられた。 このように、肉厚計測が全箇所で実施され、緩やかに進行する減肉についても傾向が管理できることから健全性が維持されるとしており、妥当である	エロージョン・コロージョン及びエロージョンについては、従来から配管の肉厚を測定し減肉傾向データの蓄積が図られている。さらに、配管減肉破損事故を踏まえて実施した 6268 箇所の肉厚計測により、美浜３号機の系統・配管毎の減肉の全体状況を把握しており、それらから得られた新しい知見等を関西電力社内の原子力発電所の共通のルールである、「２次系配管肉厚の管理指針」に反映している。 本管理指針に従って、点検対象箇所を選定し、肉厚計測を実施し、その結果に基づいて余寿命評価を行い、次回の測定時期あるいは取替時期を設定する等行われている。 さらに、「原子力検査データ処理システム」が構築されており、肉厚測定データの管理等がシステム化されている。 上記の管理指針及びデータ処理システムは今後もデータ蓄積・見直しあるいは改善を継続していくとしており妥当である。	今後も「２次系配管肉厚の管理指針」に従った管理を継続し、計画的な肉厚測定による減肉傾向の監視を行いつつ、必要に応じて取替を行っていくとともに、「原子力検査データ処理システム」による管理の徹底及び改善を継続的に行うとしている。 さらに、（社）日本機械学会で進められている配管減肉規格の結果や今後のプラントの検査結果による知見を踏まえた管理指針の改定を継続的に実施すると共に、実測肉厚データを用いて耐震評価を行う炭素鋼配管については、今後の肉厚測定に基づく減肉傾向を反映した耐震安全性評価を行うとした短期の長期保全計画を策定しており妥当である。
減肉 （エロージョン）		ステンレス鋼配管 低合金鋼配管 炭素鋼配管	ステンレス鋼配管や低合金鋼配管では復水器に繋がる蒸気、凝縮水が流れる配管等の高減圧部で、エロージョンによる減肉が発生する可能性があるとして、上記の 6268 箇所にはステンレス鋼配管や低合金鋼配管のエロージョンの確認も含まれている。その結果、いずれも有意な減肉がないことを確認しており、急激な進行による健全性への影響はないと評価しており妥当である。なお、炭素鋼配管には高減圧部に該当箇所はなくエロージョンの発生はないとしている。		

表3．2－5（2）　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果（減肉）

経年劣化事象	評価対象機器		健全性評価	現状保全	追加保全策
減肉 （ｴﾛｰｼﾞｮﾝ･ｺﾛｰｼﾞｮﾝ及びｴﾛｰｼﾞｮﾝ）	原子炉格納容器	固定式配管貫通部 SGﾌﾞﾛｰﾀﾞｳﾝﾗｲﾝ 冷却材ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ出口ﾗｲﾝ 冷却水ﾄﾞﾚﾝﾀﾝｸｶﾞｽ分析ﾗｲﾝ 格納容器内ｳｫｯｼｭﾀﾞｳﾝﾗｲﾝ	蒸気発生器（SG）ﾌﾞﾛｰﾀﾞｳﾝﾗｲﾝ貫通部は炭素鋼製であることから、減肉の可能性があるとしているが、下流近傍の肉厚測定では前回をやや下回る程度であり、急激な腐食の進行はないと評価している。冷却材ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ出口ﾗｲﾝ等、ｽﾃﾝﾚｽ鋼製貫通部のｴﾛｰｼﾞｮﾝによる減肉については、高減圧部に該当しないため発生の可能性は無いとしている。いずれも現知見及び測定結果に基づいており妥当と判断する。	配管に対する減肉管理･保全を適用していくとしており、適切である。	配管と同様、日本機械学会での検討結果やﾌﾟﾗﾝﾄの検討結果による知見を踏まえた配管管理指針の見直しを継続的に実施していくとしており適切である。
	熱交換器	湿分分離加熱器 高圧給水加熱器 復水器 グランド蒸気復水器	これら熱交換器の胴側耐圧構成品はいずれも炭素鋼製であり、蒸気の流入部で流れが変化することから、減肉が促進されるとしている。湿分分離器では減肉が認められ、監視や対策が必要と評価しているが他の熱交換器では有意な減肉が見られないことから、急激な進行はないとしている。支持板の管穴拡大については、使用条件、構造、分解時の点検項目等から評価しており妥当と判断する。	湿分分離加熱器には測定結果に基づいて必要な箇所にステンレス鋼製プロテクタを設置している。 また、全ての熱交換器に対し定期的な分解点検時に目視確認、寸法検査あるいは渦流探傷検査等が実施されており妥当と判断する。	追加すべき項目は無いとしているが、左記により妥当である。 なお、グランド蒸気復水器については、構造上、開放点検ができないことから、適切な時期（5年以内）に肉厚計測を実施するとしており適切である。
	蒸気発生器		2次側構成品の給水リング、出口ノズル、給水入口管台及び気水分離器が厳しい条件下にあるとして、いずれも低合金鋼製である事から、発生の可能性は小さいとしており妥当と判断する。	定期的に目視検査により、減肉のないことが確認されており妥当と判断する。	追加すべき項目は無いとしているが、左記により妥当である。
	弁	炭素鋼製弁	内部流体が蒸気または高速の水である炭素鋼製の弁箱、弁蓋、弁座（ｽﾃﾗｲﾄ肉盛）、弁体を有する弁に対し減肉の可能性を評価しているが、中間開度で運用される余熱除去クーラ冷却水出口流量調整弁をはじめ、いずれの弁にも有意な減肉が無く、発生の可能性は小さいとしており妥当と判断する。	定期的な分解点検時の目視検査を実施し、有意な減肉が無いことを確認しており妥当であると判断する。	追加すべき項目は無いとしているが、左記により妥当である。

表3．2－6 (1)　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果 (コンクリート)

経年劣化事象	評価対象機器	健全性評価	現状保全	追加保全策
コンクリートの熱による強度低下	内部コンクリート (1次遮へい壁)	運転時の温度分布解析により、最も高温になると考えられる当該部温度が温度制限値以下であることから、長期健全性評価上問題とならないとしており妥当である。	定期的に屋内、屋外ともコンクリート表面のひび割れ、塗装の劣化等の目視点検を実施し、強度に支障をきたす可能性があるような有害な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施しているとしており、妥当と判断する。	コンクリートの強度低下に関しては、現状保全に加えて、今後はリバウンドハンマー (シュミットハンマー) による非破壊試験を定期的に実施すること等により、急激な経年変化が生じていないことを確認するとしており、妥当と判断する。
コンクリートの放射線照射による強度低下	内部コンクリート (1次遮へい壁)	運転開始後６０年時点の中性子照射量及びガンマ線照射量の予測値とコンクリートの強度低下の関係から、中性子照射は目安値を下回ることから、長期健全性評価上問題とならないとしている。また、ガンマ線照射は、一部目安値を上回るが目安を上回る部分が部材のごく一部であることから、長期健全性評価上問題とならないとしており妥当である。		
コンクリートの中性化による強度低下	外部遮へい壁、原子炉格納施設基礎	環境条件等を考慮した現状の中性化深さの実測結果、及び運転開始後６０年時点の中性化深さ推定値より、中性化による強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしており妥当である。		
コンクリートの塩分浸透による強度低下	取水構造物、外部遮へい壁	供試体を採取して測定した塩化物イオン濃度より、現時点及び運転開始後６０年時点の鉄筋腐食減量を計算した結果から、塩分浸透による強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしており妥当である。		
コンクリートのアルカリ骨材反応による強度低下	代表構造物のコンクリート全般	使用骨材はモルタルバー法による反応性試験を実施した結果、判断基準値を下回り、無害判定であることから、アルカリ骨材反応に対する長期健全性は問題とならないとしており妥当である。		
コンクリートの機械振動による強度低下	タービン建屋(タービン架台)、原子炉補助建屋 (非常用ディーゼル発電機基礎)	これまでの目視点検実績では、機器の定着部周辺のコンクリート表面に、強度に影響するような有害なひび割れが生じていないことから、機械振動による強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしており妥当である。		

表3．2－6 (2)　高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価に対する審査結果 (コンクリート)

経年劣化事象	評価対象機器	健全性評価	現状保全	追加保全策
コンクリートの熱による遮へい能力低下	内部コンクリート (1次遮へい壁)	運転中、最も高温条件となる部位の温度分布解析の結果、遮へいに関するコンクリート温度制限値以下となっており、長期健全性評価上問題にならないとしており妥当である。	定期検査時に目視点検を実施し、遮へい能力に支障をきたす可能性のあるひび割れ等の有害な欠陥がないことを確認しているとしており、妥当と判断する。	追加保全策はなしは妥当である。
鉄骨の腐食による強度低下	原子炉補助建屋(燃料取扱建屋)鉄骨部、タービン建屋鉄骨部、特高開閉所鉄骨部	塗膜・鉄骨部材の耐用年数を建築学会評価式より算定し、定期的な目視点検を行うとともに、塗装に劣化が認められた場合は、塗装の塗替えを実施するとしていることから、鉄骨の腐食による強度低下は健全性評価上問題にならないとしており妥当である。	定期的に目視点検を実施し、強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食がないことを確認し、もし強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食につながる塗装の劣化等が認められた場合には、塗装の塗替え等を行うとしており、妥当と判断する。	追加保全策はなしは妥当である。

3．3　網羅性の確保について

標準審査要領に示す“審査等の視点及び判断基準”のうち⑭～⑯を対象に以下のとおり審査した。

(1)　経年劣化事象の評価に係る網羅性の確保 (⑭)

ポンプ、熱交換器、ポンプモータ、容器、配管、弁、炉内構造物、ケーブル、タービン設備、コンクリート、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備、その他の設備ごとに機器･構造物を構成する部位に発生する可能性がある経年劣化事象について、事業者報告書中において機器･構造物に想定される経年劣化事象と評価対象部位を組み合わせた一覧表に示された着目すべき経年劣化事象とされているすべての経年劣化事象が漏れなく評価されていることを標準審査要領に基づくチェックリスト[18] (添付資料－2で例示) を用いて確認した。

即ち、事業者報告書を精査し、報告書中のリスト (第3段階で抽出されたリストに相当) で着目すべき経年劣化事象 (○印) とされている経年劣化事象が漏れなく評価されていることを確認した。

(2)　部位の評価に係る網羅性の確保 (⑮)

機器･構造物を構成する部位について、漏れなく評価を行っていることを審査した。事業者報告書を精査し、評価対象部位として抽出された部位が漏れなく評価されているか標準審査要領に基づくチェックリストを用いて審査した。

(3)　機器･構造物の評価に係る網羅性の確保 (⑯)

事業者は、選定された評価対象機器は数千機器にも及ぶことから、合理的に評価するため、構造 (型式等) 、使用環境 (内部流体等) 、材料等によりグループ化し、グループ毎に重要度、使用条件、運転状態等を考慮して評価モデルとしての代表機器を選定し、代表機器で評価した結果をグループ内の全機器に水平展開するという手法で全ての機器について評価しており、重要度指針のクラス1、2機器･構造物及びクラス3の高温、高圧の環境下にある機器･構造物のすべてについて評価が行われていることを確認した。

事業者は、評価対象となる重要度分類クラス1、2及び3に該当する機器･構造

物について、Ｍ３５を用いて漏れなく評価対象機器を抽出している。

Ｍ３５は、色塗り系統図、ロジック図及び単線結線図に基づき作成されているが、事業者は、高経年化技術評価を実施するにあたり、Ｍ３５を用いた評価対象機器抽出の信頼性を確保するため、改めて高経年化技術評価用の色塗り系統図を作成した上で、相互に比較しつつ、抜け落ちがないよう対象機器の選定を行っている。

現地調査において、事業者がＭ３５を用いてどのように漏れなく抽出しているかを確認した。

また、代表機器の評価結果をそのまま水平展開できない経年劣化事象については、別途評価を実施しているとしていることから、その観点で精査した結果、網羅性が確保されていると判断した。

以上のヒアリング、現地調査を含めた審査の結果より、機器、経年劣化事象の抽出等の網羅性を確認した。

4．耐震安全性評価

事業者による耐震安全性評価の報告書について、標準審査要領に従い、
1) 評価対象機器の選定
2) 機器ごとの安全重要度、耐震クラス等の整理
3) 耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定
4) 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価
5) 地震時動的機能維持の評価（該当機器の場合）
6) 評価対象機器全体への展開
（上記1）項において、代表機器が選定された場合）
7) 保全策に反映すべき項目の抽出
の観点から妥当性の審査を行った。

特に、上記 4)項においては、
① 対象とする機器の耐震クラス
② 機器に作用する地震力の算定
（基準地震動 S1: 270Gal、基準地震動 S2: 405Gal）
③ ６０年の供用を仮定した経年劣化事象のモデル化
④ 振動特性解析（地震応答解析）
⑤ 地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
⑥ 許容限界との比較
に着目した。

耐震安全性評価の概要を添付資料－3に示す。

① 耐震安全性評価

3)項の耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定では、１６種類に分類された評価モデル機器の種別（ポンプ、熱交換器、ポンプモータ、容器、配管、弁、コンクリート及び鉄骨構造物、ケーブル、電気設備、タービン設備、炉内構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備（基礎ボルトを含む）、電源設備、その他設備）ごとに、技術評価での検討結果を考慮して、発生しているか発生が否定できない経年劣化事象が選定･整理され、次に、顕在化すると機器の振動応答特性または構造･強度への影響が有意な経年劣化事象が選定･整理されている。

影響が軽微若しくは無視できるとして選定されなかった経年劣化事象について

はその理由が示されており、選定結果は妥当と判断する。

選定された経年劣化事象ごとの 4)⑥許容限界との比較のまとめを表3．4－1に示す。関連規格として、「原子力発電所耐震設計技術指針」JEAG4601-1987 等が用いられている。表3．4－1の評価モデル機器欄には、グループごとの代表機器の評価結果を評価対象機器全体へ展開して抽出された機器も（ ）で示している。許容限界との比較は、選定された耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象ごとに上記 4)①～⑤の着目点に対応して定量的に評価されており、いずれも発生応力等が許容限界以下となるとの評価結果は妥当と判断する。

続いて経年劣化事象ごとに上記 1)～6)項に対応して整理、評価されており、耐震安全性が確保されるとの評価結果は妥当である。7)項の審査結果については、耐震に係わる追加保全策の策定の項で述べる。

② 耐震に係わる現状施設の評価

上記の耐震安全性評価は、現状施設の敷設条件等を反映して機器をモデル化した上で、60年の供用における経年劣化事象の影響を加味し、機器の耐震クラスに対応する設計地震力を用いて行っている。耐震安全性評価の結果から地震時の発生応力等が許容限界を超えないようにする対策としては、以下の2通りがあり得る。

a) 経年劣化事象の進展傾向を評価して、保全策をとる。
b) 敷設状況の一部変更により、機器を補強して発生応力等を低減する。

事業者の耐震安全性評価の報告書では、上記 a)の保全策をとることで耐震安全性が確保されるとしており、現状施設の敷設状況の変更には該当しない。

③ 耐震に係わる追加保全策の策定

事業者の報告書では、前項の 7)保全策に反映すべき項目の抽出において、配管を除く機器については耐震上の観点から保全策に追加すべき項目は抽出されなかったとしているが、配管については「配管減肉において、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管については、今後の減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を行うために、肉厚測定による減肉傾向の把握及びデータ蓄積を継続して行う必要がある。」としている。

このように、耐震性の観点から、配管減肉管理を長期保全計画に反映することは妥当と判断する。

表3．4－1(1)　耐震安全性評価の審査結果のまとめ

機器種別	評価モデル機器 ()は水平展開で抽出の機器	評価部位	選定された経年劣化事象	耐震安全性評価	
				4)⑥許容限界との比較評価	1)～6)の評価
ポンプ	復水器真空ポンプ	シール水タンク	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
	1次冷却材ポンプ	ケーシング	熱時効	1次冷却材配管の評価(不安定破壊することはない)に包絡されるとの評価は妥当。	
		ケーシング脚部、吐出ノズル、吸込ノズル	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
	余熱除去ポンプ	ケーシング	疲労割れ		
熱交換器	1次冷却水クーラ	伝熱管	腐食(ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ)	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	湿分分離加熱器	胴板等	腐食(ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ)		
	(2次冷却水クーラ)	伝熱管	腐食(ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ)		
	(第1、第2、第3低圧給水加熱器)	胴板	腐食(ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ)		
	抽出水再生クーラ	管板等	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
	余熱除去クーラ	管板等	疲労割れ		
	蒸気発生器	給水入口管台、管板回り	疲労割れ		
ポンプモータ	1次冷却材ポンプモータ	フライホイル	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
容器	原子炉容器	胴部	中性子照射による関連温度上昇	想定欠陥の応力拡大係数が破壊靭性値を下回るとの評価結果は妥当。	
		炉内計装筒	応力腐食割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	
		冷却材入口管台、冷却材出口管台	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	

表3．4－1（2） 耐震安全性評価の審査結果

機器種別	評価モデル機器 （）は水平展開で抽出の機器	評価部位	選定された経年劣化事象	耐震安全性評価	
				4)⑥許容限界との比較評価	1)～6)の評価
容器	加圧器	サージ管台継手溶接部	応力腐食割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
		スプレイライン用管台、サージ用管台	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
	原子炉格納容器	化学体積制御系統配管貫通部、主蒸気系統配管貫通部、主給水系統配管貫通部	疲労割れ		
		（消火水ライン配管貫通部、雑用空気ライン配管貫通部）	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
		（蒸気発生器ブローダウンライン配管貫通部）	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）		
	ガス減衰タンク	胴板等	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	復水タンク	胴板等	腐食		
	（水素再結合ガス減衰タンク）	胴板等	腐食		
配管	余熱除去系統配管	配管合流部	疲労割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
		サポートアンカ	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
		ポンプ入口	疲労割れ		
	主給水系統配管	ＣＶ内	疲労割れ		
		母管の内面	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	（低温再熱蒸気系統配管、第1、第2、第3、第4抽気系統配管、グランド蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管）	母管の内面	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）		

表3．4－1(3)　耐震安全性評価の審査結果のまとめ

機器種別	評価モデル機器 ()は水平展開で抽出の機器	評価部位	選定された経年劣化事象	耐震安全性評価	
				4)⑥許容限界との比較評価	1)～6)の評価
配管	1次冷却材管	Cループ	熱時効	想定欠陥の破壊力が破壊抵抗値を下回るとの評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
		ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ、1次系加圧器サージライン用管台、安全注入系ライン用管台、化学体積制御系ライン用管台	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
		(加圧器サージ配管、加圧器スプレ配管)	疲労割れ		
	(化学体積制御系統配管)	配管合流部	疲労割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	
	気体廃棄物処理系統配管	母管	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	復水器空気抽出系統配管	母管	腐食		
	(補助給水系統配管)	母管	腐食		
	(化学体積制御系統配管、(安全注入系統配管)	母管	応力腐食割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	
弁	余熱除去ポンプ入り口弁	弁箱	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
	抽出水第1しゃ断弁	弁箱	疲労割れ		
	原子炉容器連絡逆止弁	弁箱	疲労割れ		
	加圧器補助スプレイライン逆止弁	弁箱	疲労割れ		
	充てんライン逆止弁	弁箱	疲労割れ		
電気設備	主要変圧器	底板補強、底板	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	(起動変圧器、A所内変圧器、B所内変圧器)	底板補強、底板	腐食		
タービン設備	高圧タービン	主蒸気入口管	腐食(ｴﾛｰｼﾞｮﾝ･ｺﾛｼﾞｮﾝ)	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	

表3．4－1（4） 耐震安全性評価の審査結果のまとめ

機器種別	評価モデル機器 （）は水平展開で抽出の機器	評価部位	選定された経年劣化事象	耐震安全性評価	
				4)⑥許容限界との比較評価	1)～6)の評価
炉内構造物	上部炉心支持板等	上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
	炉心そう	胴部	中性子照射による靭性低下	想定欠陥の応力拡大係数が破壊靭性値を下回るとの評価結果は妥当。	
	制御棒クラスタ案内管、案内板	同左	摩耗	制御棒挿入時間が規定値以下との評価は妥当。	
	炉内計装用シンブルチューブ	同左	摩耗	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	バッフルフォーマボルト	同左	照射誘起応力腐食割れ	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
空調設備	チラーユニット	凝縮器伝熱管	腐食（ｴﾛｰｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
		配管	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
		サージタンク	腐食		
機械設備	原子炉容器サポート	補強材	中性子照射脆化	想定欠陥の応力拡大係数が破壊靭性値を下回るとの評価結果は妥当。	
		ボルト	中性子照射脆化		
	蒸気発生器支持脚	ヒンジ摺動部	摩耗	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	1次冷却材ポンプ支持脚	ヒンジ摺動部	摩耗		
	加圧器下部サポート	スカート溶接部	疲労割れ	疲れ累積係数が許容限界1以下との評価結果は妥当。	
	計器用空気圧縮装置	計器用空気圧縮機空気だめ	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
		計器用空気乾燥器	腐食		
	制御棒クラスタ	被覆管	摩耗	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。制御棒挿入時間が規定値以下との評価は妥当。	

表3．4－1（5） 耐震安全性評価の審査結果のまとめ

機器種別	評価モデル機器 （）は水平展開で抽出の機器	評価部位	選定された経年劣化事象	耐震安全性評価	
				4)⑥許容限界との比較評価	1)～6)の評価
機械設備	基礎ボルト	埋め込み機器基礎ボルト	腐食	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	耐震安全性が確保されるとの評価は妥当。
		埋め込み配管基礎ボルト	腐食		
		後打ちメカニカルアンカ	腐食		
		後打ちケミカルアンカ	腐食		
電源設備	非常用ディーゼル発電機関	空気冷却器伝熱管	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
	非常用ディーゼル発電機関付属設備	清水冷却器伝熱管	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛ	発生応力が許容応力以下との評価結果は妥当。	
		清水冷却器胴板	腐食		
		（燃料弁冷却水冷却器伝熱管）	腐食（ｴﾛ-ｼﾞｮﾝ・ｺﾛｼﾞｮﾝ）		
		（燃料弁冷却水冷却器胴板）	腐食		
		シリンダ冷却水タンク胴板	腐食		
		（燃料弁冷却水タンク）	腐食		
		シリンダ冷却水系統配管	腐食		
		（温水循環系統配管、燃料弁冷却水系系統配管）	腐食		
その他設備	廃液蒸発装置	蒸発器胴板	応力腐食割れ	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価結果は妥当。	
		蒸発器伝熱管	応力腐食割れ		

4．長期保全計画

⑴ 今回策定された長期保全計画

事業者は、「⑬追加保全策の策定」において現状保全に追加すべき保全策とされたものについて、対象機器、経年劣化事象、健全性評価結果、現状保全の評価結果、追加保全項目とその内容および実施時期を取り纏めた長期保全計画を策定している。

ただし、策定された長期保全計画の記述が抽象的な範囲にとどまっているもの、表現の統一性に欠ける点があり、保安院を通じて補正要求を行った結果、事業者は適切に補正を行っており、補正された長期保全計画は妥当と判断する。

⑵ 長期保全計画の見直し

１０年を超えない期間ごとに実施する経年劣化に関する技術的な評価に基づき長期保全計画の見直しを実施するとともに、最新技術知見や運転経験を反映しつつ適時に見直すとしており、妥当と判断する。

⑶ 長期保全計画の実施状況の確認について

今回の審査範囲は長期保全計画の策定までであるが、策定された長期保全計画に基づく保全策については、当機構は、中期計画に記載のとおり、事業者が保安院に報告する「高経年化に関する保全計画の実施状況」毎に、事業者が着実に計画通り履行しているか確認することとしている。

5． おわりに

関西電力株式会社美浜発電所3号機の「高経年化技術評価等報告書」に記載の内容について、保安院が新らたに策定したガイドライン及び標準審査要領、並びに当機構が策定した審査マニュアルなどに基づき、その技術的妥当性確認について審査を行った。

事業者が実施した高経年化技術評価は、最新の技術知見等を踏まえ、関連するデータ、知見、安全研究等を組み合わせて関連する経年劣化事象を適切かつ総合的に評価するとともに、監視の強化等、現状の保守管理活動に追加すべき新たな保全策を長期保全計画として策定しており妥当なものと評価される。

なお、保安院は、長期間供用しているプラントの今後の増加を考慮すると、万全の高経年化対策を講じる必要があり、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について」（平成17年8月31日、原子力安全・保安院）において、高経年化対策の充実に向けた新たな施策として、

① 透明性・実効性の確保を目的とした、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領」等を発出した。

② 技術情報基盤の整備による産学官情報ネットワークの構築に向けた当機構における技術情報調整委員会の設置

③ 企業文化・組織風土の経年劣化防止等のための定期安全レビューの活用

④ 高経年化対策に関する説明責任の着実な実施

が必要であると発したところであり、産学官が、それぞれの役割に応じて、これらの施策を着実に実施していくことが求められている。

事業者においても、電気事業者の役割に応じた具体的な計画や施策を策定し実施することが望まれるとともに、国際協力も含めた産学官の連絡・連携を密に図っていくことが重要である。

当機構は、今回の高経年化技術評価等において、産学官において技術情報等の迅速な共有化が必要であると認識したところであり、総合調整機能を有する技術情報調整委員会を通じて積極的に展開していく予定である。

以上

添付資料－1

機器別の着目すべき経年劣化事象の抽出まとめ

まえがき

事業者は、評価対象となる重要度分類クラス1、2及び3に該当する機器・構造物に関す.技術評価を実施している。

これに対して、当機構は、本文で主要な経年劣化事象である中性子照射脆化、低サイクル疲労、応力腐食割れ、絶縁低下、減肉、コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下（含む鉄骨構造の強度低下等）について取り纏めて記載している。

本書は、15種類の機器とその他の設備を標準審査要領に基づき、高経年化技術評価の流れ①～⑲について、ステップ毎に「標準審査要領に基づくチェックリスト」（添付資料－2参照）を用いた技術的妥当性確認を実施しており、チェックリストの中から、俯瞰的に機器別に「⑩高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出」を行ったものである。

なお、送受電設備・発電設備は、ガイドラインの第9項③の「重要度分類クラス1、2に該当する機器・構造物、及び高温・高圧の環境下にある機器・構造物」に該当しないため審査対象外としている。

また、機器別にチェックリストを用いて「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領」に示す“審査等の視点及び判断基準”のうちの⑭～⑯、即ち、下記網羅性の確認も併せて実施した。

（1） 経年劣化事象の評価に係る網羅性の確保
（2） 部位の評価に係る網羅性の確保
（3） 機器・構造物の評価に係る網羅性の確保

1. ポンプ

(1) 着目すべき経年劣化事象

ポンプについて、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられている。現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

着目すべき経年劣化事象	機器
孔食、隙間腐食他	海水ポンプの主軸・吐出管等接液部、循環水ポンプ用潤滑水ポンプの主軸・ケーシング等接液部
熱時効	一次冷却材ポンプのケーシング
腐食(全面腐食)	タービン動補助給水ポンプのケーシング、真空ポンプの主軸、ポンプケーシング・羽根車・シール水タンク
摩耗	充てん／高圧注入ポンプの増速機歯車、真空ポンプの軸継手・シール水ポンプマウスリング・エゼクタジェットノズル
疲労割れ	充てん／高圧注入ポンプ及び真空ポンプ主軸のフレッティング疲労割れ、余熱除去ポンプのケーシング(ケーシングカバー)、一次冷却材ポンプのケーシング

(2) 審査結果のまとめ

1) 孔食、隙間腐食、異種金属接触腐食、黒鉛化腐食

海水ポンプの主軸、吐出管等は海水と接液するため、ステンレス鋼表面の孔食、ステンレス鋼隙間部の隙間腐食、ステンレス鋼－鋳鉄接触部の異種金属接触腐食、鋳鉄表面の鉄だけが選択溶解する黒鉛化腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、孔食と隙間腐食については、これまでの点検データからの健全性評価において、有意な腐食が認められていないか、或いは腐食深さが60年の供用に対して設計腐れ代を下回ると予測しており、評価結果は妥当である。

電位差が最も大きい組合せとなるフランジ合せ面についての異種金属接触腐食については、シール材を塗布すると共に外周部はオーバコート塗装(タールエポキシ樹脂系塗料)し、海水の浸入を防止することで腐食を抑制している。一方、フランジ内面については、その腐食深さが60年の供用に対して設計腐れ代を下回ると予測しており評価結果は妥当である。

鋳鉄の黒鉛化腐食が想定される吐出曲管、吐出管については、塗装がないことを仮定した保守的な評価を行った結果、その腐食量は60年の供用に対して設計腐れ代を下回ると予測しており評価結果は妥当である。

循環水ポンプ用潤滑水ポンプの主軸、ケーシング等は、第7回定期検査時（1985年度）に取替を実施している。それ以降、開放点検時に目視で異常のないことを確認しているが、腐食深さの記録はない。しかしながら、同一サイトの他プラントの腐食深さが60年の供用に対して設計腐れ代を下回ると予測しており評価結果は妥当である。

以上のように孔食、すき間腐食が発生する可能性はあるものの、現状保全を継続する或いは、定期的に腐食軽減対策を実施すると共に、腐食進行程度を確認していくことにより長期運転は可能であると判断され技術評価結果は妥当である。

2） 熱時効

ステンレス鋼鋳鋼は、オーステナイト相中に一部フェライト相を含む2相組織であるため、高温での長期の使用に伴い、時間と共にフェライト相内でより安定な組織形態へ移行しようとし、α相（Feリッチ）とα‘相（Crリッチ）への相分離が起こることにより、靭性の低下、材料特性変化を起こす可能性がある。

熱時効による靭性低下は、フェライト量が多いほど、使用温度が高いほど、荷重が大きいほど大きくなる。これらの条件でもっとも厳しいホットレグの原子炉容器出口直管部（フェライト量16%）において、熱時効後の材料の破壊靭性値（J_{mat}）と構造上の荷重から算出される破壊力（J_{app}）を比較し、運転開始後60年時点までの疲労進展長さを考慮に入れた評価用き裂を想定しても、破壊靭性値（J_{mat}）は、破壊力（J_{app}）を十分に上回り、不安定破壊することなく健全性は確保できるとの評価結果が得られている。これに比べて、一次冷却材のポンプケーシングは、フェライト量、使用温度、応力の何れも低く、また、現状保全において、定期的にケーシングと配管溶接部の超音波探傷検査及びケーシング内面の目視検査を実施しており有意な欠陥のないことも確認していることから、60年の供用を仮定した技術評価結果は妥当であると判断する。

3） 腐食（減肉）

タービン動補助給水ポンプのケーシングは低合金鋼又は炭素鋼であり、真空ポンプの主軸･ケーシング･シール水ポンプケーシング･羽根車･シール水タンクの接液部は炭素鋼または鋳鉄であり、内部流体が飽和溶存酸素濃度水（最大約8ppm）であるため全面腐食の可能性がある。

しかしながら、60年時点での推定腐食量は設計上の腐れ代に対して、約 1/10～約 1/2 と小さく、これまでの定期的なケーシング内面の目視検査において有意な腐食がないことを確認している。したがって、これまでの現状保全を継続することにより長期健全性は維持できると判断する。

4） 摩耗

充てん／高圧注入ポンプの増速機歯車において、モータの出力をポンプ所要回転数まで増速するため、直径が異なる歯車を組合せて使用している。歯車の歯面は接触により動力が伝達されるため面圧条件により摩耗が生じる可能性がある。しかしながら、運転中は潤滑油により歯面摩耗防止を図っていること、また、これまでの分解点検時の目視検査及び寸法検査で有意な摩耗のないことを確認していること、さらに、今後も引続き、現状保全において同一の検査を行い摩耗状況の確認を行うとしており妥当である。

5） 疲労割れ

疲労割れ　フレッティングとは、互いに押し付けられ、接触している2物体が相対的に微小幅の繰返しすべり運動を行う現象である。2物体の接触面に外部荷重に起因する繰返し応力が作用したとき、その応力の働いている方向や大きさによっては、その部分に疲労割れが生じる。これをフレッティング疲労割れという。

充てん／高圧注入ポンプ及び真空ポンプは、いずれも羽根車が焼きばめにより主軸に固定された相対すべり域が存在しているため、ポンプ運転時の主軸の曲げ応力がある程度大きいとフレッティング疲労割れが発生する可能性がある。

充てん／高圧注入ポンプ及び真空ポンプの運転時に主軸に生じる曲げ応力振幅は、疲労限に対して、それぞれ約7／10、約3／4と低く、現時点の知見において、フレッティング疲労割れが発生する可能性はない。また、現状保全において、巡視点検時の運転員による振動確認及び試運転時における振動確認により有意な振動のないことを確認しており評価結果は妥当と判断する。

余熱除去ポンプ及び一次冷却材ポンプのケーシング（ケーシングカバー）は、プラントの起動･停止時等による熱過渡を繰返し受けるため疲労が蓄積する。

しかしながら、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」の第1種容器の応力解析を行う場合の評価基準、使用環境を考慮した疲労については、「環境中疲れ寿命評価指針（資源エネルギー庁）」に基づく3次元ＦＥＭモデルからの発生応力算出、及びこれまでの運転実績に基づく60年の供用を仮定した推定過渡回数から疲労評価を行い、いずれも疲れ累積係数は、許容値 1 以下であることを確認している。

さらには、現状保全として、定期的にケーシング内面の目視検査等を行い、有意な欠陥のないことを確認するとしており、技術評価結果は妥当と判断する。

2．熱交換器

(1) 着目すべき経年劣化事象

熱交換器について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものとして次の事象が挙げられている。現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表2　熱交換器の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	部　位
エロージョン･コロージョン	湿分分離加熱器（耐圧構成品等） 高圧給水加熱器、一次冷却水クーラ、復水器、グランド蒸気復水器（胴側耐圧構成品等） 一次冷却水クーラ、油冷却器（伝熱管内面） 蒸気発生器（二次側構成品等） 脱気器（耐圧構成品等）
腐食	抽出水再生クーラ、余熱除去クーラ、湿分分離加熱器、一次冷却水クーラ、復水器、グランド蒸気復水器、油冷却器、脱気器（支持脚スライド部） 一次冷却水クーラ、復水器、グランド蒸気復水器（管側耐圧構成品） 蒸気発生器（二次側構成品等） 脱気器（耐圧構成品）
応力腐食割れ	蒸気発生器伝熱管（管板拡管部及び拡管境界部） 蒸気発生器伝熱管（小曲げ U ベンド部） 蒸気発生器（インコネル 600 合金使用部位（管板一次側肉盛部、伝熱管との溶接部））
高サイクル疲労割れ及び摩耗	抽出水再生クーラ、余熱除去クーラ、湿分分離加熱器、高圧給水加熱器、一次冷却水クーラ、復水器、グランド蒸気復水器、油冷却器（伝熱管）
スケール付着	抽出水再生クーラ、余熱除去クーラ、湿分分離加熱器、高圧給水加熱器、一次冷却水クーラ、復水器、グランド蒸気復水器、油冷却器、蒸気発生器、RCS 高温側サンプル冷却器（伝熱管） 蒸気発生器（管支持板穴）
疲労割れ	抽出水再生クーラ、余熱除去クーラ（管板） 蒸気発生器（管板及び給水入口管台）
摩耗	蒸気発生器（振止金具）

粒界腐食割れ	蒸気発生器（管支持板クレビス部等）
ピッティング	蒸気発生器（管板直上部）
腐食損傷	蒸気発生器（管板直上部）
フレッティング疲労	蒸気発生器（伝熱管）
デンティング	蒸気発生器（管支持板クレビス部）

（2）審査結果のまとめ

1) エロージョン・コロージョン

エロージョン・コロージョンは、湿分分離加熱器（耐圧構成品等）等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。エロージョン・コロージョンに対して、実機データを基に健全性を評価している。また、各種水質・条件下で、伝熱管と組み合わせた状態での管支持板の腐食試験により健全性を評価していること、「復水器工学ハンドブック」を参考とし、潰食発生限界流速と実際の熱交換器の流速を比較検討しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、湿分分離加熱器（耐圧構成品等）等のエロージョン・コロージョンに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 腐食

腐食は、抽出水再生クーラの支持脚スライド部等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。腐食に対して、腐食の有無を開放点検時の目視点検、文献に示されている海水中での定常的均一腐食速度のデータを用いた評価、各種水質・条件下で、伝熱管と組み合わせた状態での管支持板の腐食試験により健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

3) 応力腐食割れ

応力腐食割れは、蒸気発生器伝熱管の管板拡管部及び拡管境界部等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。応力腐食割れに対して、インコネル 690 合金を使用し、SR を実施し残留応力をほぼ 0 に押さえていること、耐応力腐食割れ性向上、液圧拡管を採用、応力腐食割れ試験の結果より健全性を評価しており妥当と判断した。また、民間研究の結果や水素注入、脱塩処理により，溶存酸素濃度，塩化物イオン濃度等を極力低減していること、使用部位の応力・温度条件を基に健全性を評価しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、蒸気発生器の管板拡管部及び拡管境界部等の応力腐食割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

但し、蒸気発生器のインコネル 600 合金使用部位（管板一次側肉盛部、伝熱管

との溶接部）に関しては、保安院指示文書（平成 17・06・10 原院第 7NISA-163a-05-2）に基づき実施している評価上厳しい原子炉容器のインコネル６００合金使用部位の超音波探傷検査結果により応力腐食割れ発生の可能性を判断し、予防保全措置を検討していく事となっており妥当と判断した。

4) 高サイクル疲労割れ及び摩耗

高サイクル疲労割れ及び摩耗は、抽出水再生クーラの伝熱管等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。渦流探傷試験（ECT）の実施、米国基準 TEMA を準拠し、振動に対する健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

5) スケール付着

スケール付着は、抽出水再生クーラの伝熱管等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。フィルタ及び脱塩塔により浄化すること、伝熱管外壁側（冷却水側）は流体がヒドラジン水（防錆材注入水）であること、防錆材注入により不純物発生を抑制すること、溶存酸素濃度を 5ppb 以下に管理するといった適切な水室管理により不純物を抑制すること、伝熱性能低下を抑制すること、管支持板部のカメラによる目視検査と ECT によりスケール付着量を確認することにより健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

蒸気発生器の伝熱管のスケール付着に対しては、プラントパラメータによる伝熱性能の確認を実施するとともに、プラントパラメータからのスケール付着の評価結果に基づき、海外でも実績のある化学洗浄等によるスケール除去を実施していくこととなっており妥当と判断した。また、管支持板穴へのスケール付着については、S-BEC 穴へのスケール付着状況を ECT 等により監視するとともに、必要に応じてスケール除去のための洗浄を実施していくとしており妥当と判断した。

6) 疲労割れ

疲労割れは、抽出水再生クーラの管板等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。過渡回数により疲労評価を行い、許容値と比較し健全性を確認しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、抽出水再生クーラの管板等の疲労割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

但し、抽出水再生クーラの管板、蒸気発生器の管板及び給水入口管台の疲労割れに対しては、実過渡回数に基づく評価を定期的に実施することを計画しており妥当と判断した。

7) 摩耗

摩耗は、蒸気発生器の振止金具で着目すべき経年劣化事象として抽出された。摩耗進展速度により健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

8) 粒界腐食割れ

粒界腐食割れは、蒸気発生器の管支持板クレビス部等で着目すべき経年劣化事象として抽出された。美浜3号機の管支持板穴形状はS-BEC穴を採用しており、管支持板クレビス部での濃縮倍率はドリル穴のものと比較して約1／100に低減させていること、また、クレビス部のpH値をほぼ中性にしていることにより健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

9) ピッティング

ピッティングは、蒸気発生器の管板直上部で着目すべき経年劣化事象として抽出された。実機模擬スラッジによる腐食電位上昇を測定し、ピッティング発生電位を下回っていることを確認することにより健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

10) 腐食損傷

腐食損傷は、蒸気発生器の管板直上部で着目すべき経年劣化事象として抽出された。インコネル 690 合金を使用し、材料の耐食性向上、流動改善によるスラッジ堆積防止、液圧拡管により拡管境界部の応力低減により健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

11) フレッティング疲労

フレッティング疲労は、蒸気発生器の伝熱管で着目すべき経年劣化事象として抽出された。流力弾性振動が発生し、振止金具部の摩耗減肉が発生する場合、隙間増加を考慮しても、伝熱管支持板部での発生応力は低く、フレッティング疲労による破断は発生しないとしており、フレッティング疲労に対する高経年化技術評価は妥当であると判断した。

12) デンティング

デンティングは、蒸気発生器の管支持板クレビス部で着目すべき経年劣化事象として抽出された。塩化物環境下での加速試験で管支持板の腐食量を測定したところ、ドリル穴の腐食量に対し、S-BEC 穴の腐食量は 1／100 以下に低く抑えられているとともに、取替前の蒸気発生器でもデンティングは発生しておらず、蒸気発生器の管支持板クレビス部でのデンティングが発生する可能性は小さいとする高経年化技術評価は妥当であると判断した。

3．ポンプモータ

(1) 着目すべき経年劣化事象

ポンプモータは、高圧ポンプモータ及び低圧ポンプモータに種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象を抽出している。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当と判断する。

添付表3　ポンプモータの着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
絶縁低下	全ての高圧ポンプモータ及び低圧ポンプモータの固定子コイル、口出線･接続部品等
疲労割れ	一次冷却材ポンプモータ(高圧ポンプモータ)のフライホイル

(2) 審査結果のまとめ

1) 絶縁低下

絶縁低下は、全ての高圧ポンプモータ及び低圧ポンプモータの固定子コイル、口出線･接続部品等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、評価試験等により18.5年(高圧ポンプモータ)及び16年(低圧ポンプモータ)の健全性が評価されている。またこれらを踏まえ、現状保全で保全の強化及び取替が考慮されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧ポンプモータ及び低圧ポンプモータの固定子コイル、口出線･接続部品等の絶縁低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 疲労割れ

疲労割れは、一次冷却材ポンプモータ(高圧ポンプモータ)のフライホイルにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、フライホイル内径側に発生する引張り応力の評価によって健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、一次冷却材ポンプモータのフライホイルの疲労割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

4．容器

(1) 着目すべき経年劣化事象

容器について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられており、現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表4　容器の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	部 位 等
中性子照射脆化	原子炉容器（胴炉心領域）
粒界型応力腐食割れ	原子炉容器（冷却材入口管台、冷却材出口管台 炉内計装筒、炉心支持金物）、 加圧器（サージ用管台）、 ほう酸注入タンク（温度計管台） ほう酸フィルタ（胴、鏡板、蓋、入口管台、出口管台、空気抜管台、ドレン管台）
粒内型応力腐食割れ	加圧器（計測用管台） 燃料取替用水タンク（胴板、屋根板、平板、給水入口管台、出口管台、液面計管台、温度計管台、サンプル管台、ドレン管台、アトモス弁管台、ヒータ循環水入口管台、ヒータ循環水出口管台、オーバーフロー管台、マンホール） 復水タンク（純水補給水管台、補助給水ポンプ吸込管台、復水スピルオーバー管台、補助蒸気入口管台、補助蒸気出口管台、オーバーフロー管台、ブロー管台、空気抜管台、補助給水ミニマムフロー管台、サンプリング用管台、計器用管台）
疲労割れ	原子炉容器（上部鏡、上部胴、中間胴、下部胴、下部鏡、上部蓋フランジ、上部胴フランジ、冷却材入口管台、冷却材出口管台、蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物、スタッドボルト）、 加圧器（スプレイライン用管台、サージ用管台）、 原子炉格納容器機械ペネトレーション（抽出ライン貫通部（端板）、主蒸気・主給水ライン貫通部（伸縮継手））
腐食	原子炉格納容器（トップドーム部、円筒部、コンクリート

腐食	埋設部（スタッド含む）) 原子炉格納容器機械ペネトレーション（抽出ライン貫通部（スリーブ）、主蒸気・主給水ライン貫通部（スリーブ取付端板、配管取付端板、スリーブ）、機器搬入口、燃料移送ライン貫通部（スリーブ）、）、 ガス減衰タンク（胴板、鏡板、出入口ノズル、サンプルノズル、ドレンノズル、マンホール） 1 次系冷却水タンク・湿分分離加熱器ドレンタンク・主油タンク（支持脚スライド部） 復水タンク（側板、屋根板、底板、ダイヤル式液面計管台、マンホール）
絶縁低下	原子炉格納容器電気ペネトレーション（ポッティング材）
導通不良	加圧器ヒータ（ヒータエレメント、チューブ、ピン）

（2）審査結果のまとめ

1）中性子照射脆化

原子炉容器・胴の炉心領域部分の中性子照射脆化が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。加圧水型原子炉容器は沸騰水型原子炉容器と比較すると、照射量は多いものの、国内脆化予測式（JEAC4201-2004）に基づく関連温度の上昇量の予測線は、良い精度で安全側に予測している。また、監視試験データは運転の長期化に伴い照射量が増加しても、関連温度が急激に変化する傾向は見られない。さらに、加圧水型原子炉容器の場合、加圧熱衝撃事象に対する評価を電気技術規程（JEAC4206-2004）に基づき実施しており、運転開始後 60 年時点においても、脆性破壊に対する抵抗値は十分大きく、脆性破壊は起こらないと評価できる。今後、事業者においては、運転の長期化に伴う監視試験片の数量に不足はないものの、データ拡充による長期的な予測信頼性向上に取り組む観点から、国や民間の技術開発等に積極的に参画し、最新知見による脆化予測式で評価を行うとともに、従来の予測と大幅に異なる場合は再生試験片の装荷等も含めて、実機への適用を検討していくとしており妥当であると評価できる。

2）粒界型応力腐食割れ

原子炉容器、加圧器のニッケル基合金使用部位、また、海外プラントにおけるトラブル事例を鑑み、ほう酸注入タンク及びほう酸フィルタのオーステナイト系ステンレス鋼使用部位の粒界型応力腐食割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。なかでも、原子炉容器のニッケル基合金（インコネル 600 合

金）の使用部位である炉内計装筒－J 溶接部に対しては、現時点の知見では、応力条件として厳しく、溶接部の表面仕上げ（バフ仕上げ）が行われていない場合には応力腐食割れ発生の可能性を否定できないため、事業者はウォータジェットピーニングにより応力改善を行う予防保全技術を適用するとしており妥当であると評価できる。今後も、検査の継続実施、並びに国プロ等での最新知見を踏まえ、応力腐食割れの発生や進展評価手法の確立を図るとともに、応力改善などの予防保全技術を確立し、実機適用を推進していくことが重要である。

なお、1996 年度に実施された第 15 回定期検査において、原子炉容器上蓋は、応力腐食割れに対する予防保全措置として管台部にインコネル 690 合金を用いたものに取替えられている。

3）粒内型応力腐食割れ

屋外に設置されている燃料取替用水タンク、復水タンクのオーステナイト系ステンレス鋼の使用部位に対し、海塩粒子等の付着による粒内型応力腐食割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。タンクには塗装を施工し、海塩粒子等の付着を防止するとともに、巡視点検において塗膜の健全性を確認しており妥当と評価できる。今後も引き続き、塗膜の健全性を確認していくことが重要である。また、海外プラントにおいて、加圧器の計測用管台に粒内型応力腐食割れが発生しており、美浜 3 号機においても同部位に対する粒内型応力腐食割れを着目すべき経年劣化事象として抽出している。しかし、海外プラントでの発生原因は局所的に水質が悪化したことによるものと推定されており、現時点では美浜 3 号機の同部位において粒内型応力腐食割れ発生の可能性はないと考えられるが、今後も引き続き、漏えい試験による健全性の確認が必要である。

4）疲労割れ

原子炉容器の胴・管台等や、原子炉格納容器・機械ペネトレーション等の疲労割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。低サイクル疲労を考慮して設計を実施している原子炉冷却材圧力バウンダリなどの機器については、60 年運転を実施しても、設計応力サイクルにより疲労き裂は発生しないことが確認されている。このため、低サイクル疲労防止のために、当面追加して実施するべき事項は無いと考えられるが、接液環境の影響に関する研究の進捗など、最新の知見の反映及び今後も実過渡回数による再評価が望まれる。

5）腐食

原子炉格納容器のトップドーム部、ガス減衰タンクの胴板及び復水タンクの側板等の腐食が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。腐食に対し

ては肉厚点検、巡視点検における目視確認等で異常の無いことを確認しており妥当であると判断される。今後も継続して確認を行うことが必要である。

6) 絶縁低下

原子炉格納容器電気ペネトレーションのポッティング材の絶縁低下が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。今後も、定期的に絶縁抵抗測定または機器の動作確認を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認するとしており妥当であると判断する。

7) 導通不良

加圧器ヒータのヒータエレメント、チューブ及びピンの導通不良が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。今後も、定期的にヒータの抵抗測定を実施し、導通不良に至っていないことを確認するとしており妥当である。

8) 貫通部配管の内面からの腐食（エロージョン・コロージョン及びエロージョン）

格納容器貫通部配管※1の内面からの腐食は、高減圧部に該当する箇所の無いことや、減肉の測定結果を基に着目すべき経年劣化事象として抽出されてはいない。しかし、事業者は炭素鋼貫通部のエロージョン・コロージョン及びステンレス鋼貫通部のエロージョンについては、炭素鋼配管に懸念されるエロージョン・コロージョン及びステンレス鋼配管に懸念されるエロージョンと同様に長期保全計画に取り込み知見の拡充を図るとしており、原子力プラントの安全確保の観点から妥当であると評価できる。

※1；蒸気発生器ブローダウンライン貫通部、冷却材ドレンポンプ出口ライン貫通部、冷却水ドレンタンクガス分析ライン貫通部、原子炉格納容器内ウォッシュダウンライン貫通部。

5．配管

⑴ 着目すべき経年劣化事象

配管について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象である。現時点の知見に照らして妥当である。

添付表5　配管の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象		部位
(1)	エロージョン･コロージョン	炭素鋼配管
	エロージョン	ステンレス鋼配管、低合金鋼配管、炭素鋼配管
(2)	粒界型応力腐食割れ	ステンレス鋼配管
	粒内型応力腐食割れ	ステンレス鋼配管
(3)	管内面の腐食	炭素鋼配管
(4)	疲労割れ	一次冷却材管、ステンレス鋼配管、炭素鋼配管、配管サポート
(5)	熱時効	一次冷却材管
(6)	摩耗	配管サポート
	はく離	配管サポート
	劣化	配管サポート

⑵ 審査結果のまとめ

1) エロージョン･コロージョン、エロージョン

炭素鋼配管のエロージョン･コロージョン、炭素鋼配管･ステンレス鋼配管及び低合金鋼配管のエロージョンによる配管の減肉に関しては、2004 年度から実施中の定期検査において、発生の可能性が否定できない箇所（現時点の知見における使用条件を考慮すると発生の可能性が否定できない箇所、他プラントを含めた減肉事象の水平展開及び知見拡充の観点から選定した全ての監査対象箇所）の全数の肉厚計測を実施した。全数計測の結果、計算必要厚さに達するまでの時間が次回定検時で5年を下回る部位は取替を実施している。また、全数計測で得られた新たな減肉部位などの知見を、社内の原子力発電所の共通の指針に反映しており、今後余寿命が5年となる時期までに点検し必要に応じて取り替えるなどの指針の規定に従って管理することにより健全性を確保するとしている。また、点検箇所の抜けなどの人的過誤防止対策として、設計諸元･計測結果の管理と処理をシステム化している。社内の管理指針に基づく検査･取替を継続していくことにより、高経年

化時にも配管の健全性が確保されると判断した。現在機械学会ではエロージョン・コロージョンの管理指針が検討されており、今後事業者が蓄積する減肉データと合わせて、事業者の手引に反映していくことが重要であるが、追加保全項目としており適切である。

2) 応力腐食割れ

粒界型応力腐食割れについては、PWRの1次系水質環境条件下ではステンレス鋼配管の応力腐食割れの発生の可能性は小さいが、分岐管の滞留部では1次系水質環境条件を満たさない部位があり、そこが熱伝導で高温になる場合には応力腐食割れが発生する可能性があると評価している。このように高温で溶存酸素濃度が高くなる部位に対しては定期的に超音波探傷試験を実施し、有意な欠陥がないことを確認して高経年化時の健全性を確保できるとしており、妥当と判断する。今後、実施中の調査研究等で得られる知見を反映するとしており妥当である。

粒内型応力腐食割れについては、付着した海塩粒子、熱分解した塩化ビニールテープによるものがある。当該プラントでは前者について 2003 年度に屋内外配管の調査を行い、付着塩分量が多い箇所は外面塗装を実施している。屋外設置の配管に対しては定期的に配管の防水措置の健全性を目視確認しており、今後も実施するとしている。後者については 2000 年度から現在までに一斉点検と処置を実施しており、原因が除去されているので今後発生の可能性はないとしている。これらの対応により、高経年化時にも健全性が確保されるとしており妥当と判断した。

3) 管内面の腐食

海水管のライニング損傷が想定されることについて、現状のライニング点検間隔での腐食量は腐食代に比べて十分小さいと評価している。また、水分を含んだ廃ガスを扱う管の腐食については、類似環境のタンク内面調査で有意な腐食が認められず、60 年供用時にも腐食量は腐食代を上回らないと評価している。これらの結果に基づいた追加的な高経年化対策は不要との結論は妥当と判断した。

4) 疲労割れ

起動停止等の応力サイクルにより疲労が累積する配管については、2003 年末時点までの供用実績に基づいて、60 年供用時の応力サイクル数を評価し、60 年供用時にも疲労損傷しないことを確認している。一次冷却材に接液する管については、接液環境の影響を考慮した評価も実施し、疲労損傷しないことを確認している。また、当該配管からの反力を直接支持する部位も十分な強度剛性を有し疲労破壊しないと評価している。高経年化時にも定期的に応力サイクル実績の把握と評価を継続することとしており妥当である。

5) 熱時効

一次冷却材管の熱時効による 60 年供用時の破壊靭性を予測し、適切の想定したき裂に生じる破壊力を評価し、60 年供用時にも配管が不安定破壊することはないとしている。現在の溶接部に対する超音波探傷検査に加えて高経年化対策の観点から追加するべきものはないとの評価は妥当である。

6) 配管サポートの機能低下

摺動部、バネ等を有する管の支持構造物には長期間の使用により摩耗や変形のため機能が低下する可能性があるが、高経年化時にも点検と補修を実施して健全性を維持するとの方針は妥当である。また、点検補修の困難な部位に設置したサポート部品の経年劣化については、実機の劣化条件以上の条件で長期健全性実証試験により、高経年化時にも機能を維持することを確認しており、妥当と判断した。

6．弁

⑴ 着目すべき経年劣化事象

弁について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象である。

添付表6　弁の着目すべき経年劣化事象

事象		部位
(1)	エロージョン･コロージョン	内部流体が給水、冷却水、蒸気等の炭素鋼等の弁箱、弁体等
	全面腐食	蒸気に接する炭素鋼、及び海水に接するライニングした炭素鋼、鋳鉄の弁箱、弁体等
	孔食、隙間腐食	海水に接するステンレス鋼製の弁棒等
	応力腐食割れ	屋外設置のステンレス鋼製弁、蒸気加減弁
	磨耗	弁体、弁座のシート部、スイング型逆止弁の、アーム、ヒンジピン、ブッシュ等 電動弁駆動部のステムナット、ギア
	変形	安全弁、特殊弁、空気作動弁駆動部のスプリング
	固着	リフト型逆止弁
(2)	疲労割れ	炭素鋼、ステンレス鋼の弁箱
(3)	絶縁特性低下	電動弁駆動部の固定子コイル、口出線、接続部品

⑵ 審査結果のまとめ

1) エロージョン･コロージョン、全面腐食、孔食、隙間腐食、応力腐食割れ、磨耗、変形、固着

弁部品のエロージョン･コロージョン、腐食、磨耗、応力腐食割れ、摩耗、変形、固着の可能性は、内部流体とその流動状況、構造、使用材料の組み合わせ等によって様々であるが、原子力プラントに特有の現象は抽出されていない。弁部品に発生するこれらの劣化現象に対して、定期的に分解点検して必要に応じて補修又は取替して供用されている。高経年化時にもこの保全活動を継続することにより健全性を確保するとしており妥当と判断する。

2) 疲労割れ

起動停止等に伴う変動応力が大きく疲労が累積する弁については、供用実績に基づいて評価した60年供用時の応力サイクル数を考慮しても疲労損傷しないこと、また接液環境の影響を考慮しても疲労損傷しないことが確認されている。実過渡回数に基づく疲労評価の定期的な実施を高経年化時の追加的保全策としており、妥当と判断する。

3) 絶縁低下

事故時に作動要求のある電動弁の駆動部は、40 年間の運転と設計想定事故を想定した長期健全性試験により健全性が評価されている。追加保全策として、60年間の運転を想定した長期健全性試験を行い、その結果に基づく保全を検討するとしており、妥当と判断する。

7．炉内構造物

⑴ 着目すべき経年劣化事象

炉内構造物について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられており、現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表7　炉内構造物の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	部 位 等
摩耗	制御棒クラスタ案内管、支持ピン 炉内計装用シンブルチューブ
疲労割れ	上部・下部炉心板、上部・下部炉心支持柱、上部・下部炉心支持板、炉心そう
照射誘起型応力腐食割れ	下部炉心板、炉心そう、下部燃料集合体案内ピン、炉心バッフル、炉心バッフル取付板、バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルト、熱しゃへい体
中性子照射による靭性低下	炉心そう
応力緩和	押えリング

⑵ 審査結果のまとめ

1) 摩耗

制御棒クラスタ案内管、炉内計装用シンブルチューブ及び支持ピンの磨耗が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。制御棒クラスタ案内管については、今後も炉内構造物点検評価ガイドライン（火原協）に基づく点検や、直接的な摩耗データを採取し、評価を実施していくことが必要である。また、炉内計装用シンブルチューブについても定期的な渦流探傷検査の実施により、摩耗の進行状況を把握し、必要に応じた措置を実施していくことが重要である。さらに支持ピンについては、定期的に目視検査を実施し、必要に応じて取替え等を実施していくことが重要である。

2) 疲労割れ

「上部・下部炉心板、上部・下部炉心支持柱、上部・下部炉心支持板、炉心そう」の疲労割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。今後も、定期的に上部炉心支持柱等の可視範囲について水中テレビカメラによる目視検査の継続実施と、定期的な実過渡回数の確認による疲労評価を実施することとしており妥当である。

3) 照射誘起型応力腐食割れ

「下部炉心板、炉心そう、下部燃料集合体案内ピン、炉心バッフル、炉心バッフル取付板、バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルト、熱しゃへい体」の照射誘起型応力腐食割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。

評価上、最も厳しいバッフルフォーマボルトについては、運転の長期化や海外事例も鑑み、将来的には照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は否定できないことから、検査や取替による今後の保全の検討を進めることが重要である。また、最新知見に留意し、実機保全への適用を検討することも重要である。

4) 中性子照射による靭性低下

「炉心そう」の中性子照射による靭性低下が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。今後も炉内構造物点検評価ガイドライン（火原協）、維持規格（機械学会）等を活用し、検査や取替による今後の保全の検討を進めていくことが重要である。

5) 応力緩和

「押えリング」の応力緩和が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。現時点の知見においては、押えリングの変形が問題となる可能性はないと考えられるが、現状保全の継続が必要である。

8. ケーブル

(1) 着目すべき経年劣化事象

ケーブルは、高圧ケーブル、低圧ケーブル、同軸ケーブル、ケーブルトレイ・電線管及びケーブル接続部に種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表8　ケーブルの着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
絶縁低下	高圧ケーブル及び全ての低圧ケーブル、同軸ケーブル、ケーブル接続部の絶縁体または絶縁物
水トリー劣化による絶縁低下	高圧ケーブルの絶縁体

(2) 審査結果のまとめ

1) 絶縁低下

絶縁特性低下は、高圧ケーブル及び全ての低圧ケーブル、同軸ケーブル、ケーブル接続部の絶縁体または絶縁物において着目すべき経年劣化事象として抽出され、60 年間の長期健全性が環境試験によって維持可能であると評価されている。なお、高圧ケーブル、低圧ケーブル及び同軸ケーブルは、現在、電気学会推奨案に基づいて長期健全性が評価されているが、現在、国のプロジェクトで実施中のより実機環境を模擬した「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究」の成果を反映し、ケーブルの長期健全性の再評価を実施していくことが計画されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧ケーブル等の絶縁体または絶縁物の絶縁特性低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 水トリー劣化による絶縁低下

水トリー劣化による絶縁特性低下は、高圧ケーブルの絶縁体において着目すべき経年劣化事象として抽出されているが、長時間浸水することはないと評価されるとともに、絶縁診断試験等の保全が実施されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧ケーブルの絶縁体の水トリー劣化による絶縁特性低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

9．電気設備

⑴ 着目すべき経年劣化事象

審査対象となる電気設備は配電設備のみであり、配電設備はメタルクラッド開閉装置、動力用変圧器、パワーセンタ、コントロールセンタに細分化され、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表9　電気設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
絶縁低下	メタルクラッド開閉装置のばね蓄勢用モータ、計器用変圧器、計器用変流器、保護リレー、動力変圧器のコイル、パワーセンタの保護リレー、計器用変圧器
特性低下	メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタの保護リレー、指示計
固着	メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのリンク機構
変形	メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのばね

⑵ 審査結果のまとめ

1) 絶縁低下

絶縁低下は、メタルクラッド開閉装置のばね蓄勢用モータ及び計器用変圧器等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、このうちメタルクラッド開閉装置のばね蓄勢用モータの絶縁低下は別途評価されているポンプモータと同様の評価であるとされ、他は試験により 32～60 年間の健全性が評価されており、60 年間の評価に満たないものは取替等を検討することが計画されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、メタルクラッド開閉装置のばね蓄勢用モータ及び計器用変圧器等の絶縁特性低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 特性低下

特性低下は、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタの保護リレー、指示計において着目すべき経年劣化事象として抽出され、使用環境等により健全性が維持されると試験によって評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタの保護リレー、指示計に関する高経年化技術評

価内容は妥当であると判断した。

3) 固着

固着は、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのリンク機構において着目すべき経年劣化事象として抽出され、4～6 年の注油により健全性が維持されると試験によって評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのリンク機構の固着に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

4) 変形

変形は、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのばねにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、使用環境及び点検結果により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、メタルクラッド開閉装置及びパワーセンタのばねの変形に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

10. タービン設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

タービン設備について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられている。現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表 10 タービン設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
疲労割れ	高圧タービン（主蒸気入口管、車室） 低圧タービン（第1内部車室、第2内部車室） タービン動補助給水ポンプタービン（ケーシング、ダイヤフラム）
変形	高圧タービン（車室） タービン調速装置、タービン保安装置、タービン動補助給水ポンプタービン（ばね）
全面腐食	タービン動補助給水ポンプタービン（ケーシング、ダイヤフラム）
エロージョン・コロージョン、	高圧タービン（主蒸気入口管、車室、ノズル室、第一翼環） 低圧タービン（第1内部車室、第2内部車室、動翼、静翼）
絶縁特性低下	補助油ポンプ、ターニング油ポンプ（ポンプモータ） タービン調速装置（高圧油供給装置・油ポンプモータ）
摩耗	高圧タービン（ジャーナル軸受ホワイトメタル） 低圧タービン（ジャーナル軸受ホワイトメタル） タービン動補助給水ポンプタービン（ガバナ調速機構）
応力腐食割れ	高圧タービン（車軸、翼環ボルト） 低圧タービン（車軸） タービン動補助給水ポンプタービン（円板）

(2) 審査結果のまとめ

1) 疲労割れ

疲労割れは、高圧タービンの主蒸気入口管等、表に示すような箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出され、目視点検、浸透探傷検査（PT）による保全結果により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧タービン車室等の疲労割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断し

た。

但し、低圧タービンの第1内部車室については、実過渡回数に基づく評価を定期的に実施していくこととなっており妥当であると判断した。

2) 変形

高圧タービンの車室等、表に示すような箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出され、定期的に水平継手面の間隙の経年変化傾向を確認することにより健全性が評価されていることから、高経年化技術評価の内容は妥当であると判断した。

また、タービン調速装置等のばねの変形については、定期検査時の作動確認、目視検査、オイルトリップ試験、過速度トリップ試験、起動試験時にガバナ弁作動状態確認を実施することにより健全性を評価されていることから、高経年化技術評価の内容は妥当であると判断した。

3) 全面腐食

全面腐食は、タービン動補助給水ポンプタービンのケーシング、ダイヤフラムにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、定期的な目視検査により健全性が評価されていることから、高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

4) エロージョン･コロージョン

エロージョン･コロージョンは、高圧タービンの主蒸気入口管等、表に示すような箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出され、肉厚測定結果による余寿命から適切な時期･頻度で超音波による肉厚測定の実施による保全結果により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧タービンの翼等のエロージョン･コロージョン、エロージョンに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

5) 絶縁特性低下

絶縁特性低下は、補助油ポンプのポンプモータ等、表に示すような箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出された。なお、本箇所については、ポンプモータの技術報告書において健全性が評価されている。(ポンプモータ技術報告書参照)

6) 摩耗

摩耗は、高圧タービンのジャーナル軸受ホワイトメタル等、表に示すような箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出され、定期的な目視検査、間隙測定、軸表面の当たり幅の検査、浸透探傷試験(PT)、超音波探傷試験(UT)により健全性が評価されていることから高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

また、タービン動補助給水ポンプタービンのガバナ調速機構については、定期的な寸法計測の実施により健全性が評価されていることから高経年化技術評価内容

は妥当であると判断した。

7) 応力腐食割れ

応力腐食割れは、高圧タービンの車軸等、表に示す箇所において着目すべき経年劣化事象として抽出され、目視検査、超音波探傷試験（UT）の実施により健全性が評価されている。

低圧タービンの車軸については、目視検査、間隙検査、軸表面の当たり幅検査、浸透探傷試験（PT）、超音波探傷試験（UT）の実施により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、高圧タービンの車軸等の応力腐食割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

11. コンクリート及び鉄骨構造物

(1) 着目すべき経年劣化事象

コンクリート及び鉄骨構造物は、コンクリート構造物、鉄骨構造物に種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見、プラントの環境条件等を踏まえると妥当である。

添付表11　コンクリート及び鉄骨構造物の着目すべき経年劣化事象

種別	着目すべき経年劣化事象	発生部位
コンクリート構造	熱による強度低下	内部コンクリート(1次遮へい壁)
	放射線照射による強度低下	内部コンクリート(1次遮へい壁)
	中性化による強度低下	外部遮へい壁、原子炉格納施設基礎
	塩分浸透による強度低下	取水構造物、外部遮へい壁
	アルカリ骨材反応による強度低下	代表構造物のコンクリート全般
	機械振動による強度低下	タービン建屋(タービン架台)、原子炉補助建屋(非常用ディーゼル発電機基礎)
	熱による遮へい能力低下	内部コンクリート(1次遮へい壁)
鉄骨構造	腐食による強度低下	原子炉補助建屋(燃料取扱建屋)、タービン建屋、特高開閉所

(2) 審査結果のまとめ

1) 熱による強度低下

本事象の評価点として、通常運転時に最も高温状態となる内部コンクリート(1次遮へい壁)を抽出している。

次に、劣化事象の進展評価として、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散を伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大等により、強度が低下する可能性があるとしている。

健全性評価では、評価点として通常運転時に最も高温状態となる内部コンクリート(1次遮へい壁)のうち、ガンマ発熱の影響が最も大きい炉心領域部及び原子炉容器支持部(RV サポートと呼ぶ)からの伝熱の影響が最も大きい RV サポート直下

部を選定している。当該部の温度分布解析の結果、コンクリートの最高温度は約64℃となり、コンクリートの温度制限値65℃（一般部）以下であり、長期健全性評価上問題にならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の熱による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断する。

2）放射線照射による強度低下

本事象の評価点として、通常運転時に最も中性子照射量およびガンマ線照射量の大きい内部コンクリート（1次遮へい壁）を抽出している。

次に劣化事象の進展評価として、コンクリートが中性子照射やガンマ線照射を受けた場合、自由水の逸散等により強度が低下する能性があるとしている。

健全性評価では、運転開始後60年時点で予想される中性子照射量は、内部コンクリート（1次遮へい壁）の炉心側コンクリートにおいて約 $4.7\times10^{19}n/cm^2$ であり、目安値 $1\times10^{20}n/cm^2$ を下回っており、長期健全性評価上有意なものとならないとしている。

同じく、ガンマ線照射量は、内部コンクリート（1次遮へい壁）の炉心側コンクリートにおいて約2.5×10^{8}Gy（2.5×10^{10}rad）となり、目安値2×10^{8}Gy（2×10^{10}rad）を上回っているが、照射量が 2×10^{8}Gy（2×10^{10}rad）を上回る範囲は、深さ方向に最大10cm 程度であり、1次遮へい壁の壁厚（最小壁厚269cm）に比較して小さいことから、長期健全性評価上有意なものとならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の放射線照射による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断する。

3）中性化による強度低下

本事象の評価点として、中性化を促進させる要因として二酸化炭素、温度、湿度、仕上げの有無に着目し、外部遮へい壁の屋外、屋内及び原子炉格納施設基礎の屋内の複数箇所でサンプリングを実施し、評価点を抽出している。

次に劣化事象の進展評価として、コンクリートは表面から空気中の二酸化炭素の作用を受けて徐々にアルカリ成分を失い中性化する。中性化するとコンクリート中の水分、酸素の作用で鉄筋が腐食膨張し、コンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物として健全性が損なわれる可能性があるとしている。

健全性の評価では、岸谷、森永の中性化予測式により、現状の中性化深さの測定結果と推定値を比較し、現状の中性化深さの計測値が妥当であることを確認した

上で、これら推定式を用いた60年時点の推定が安全側評価となることを確認している。

その上で、運転開始後60年時点の中性化深さを、これら予測式と合わせ実測値に基づく$\sqrt{t}$式も採用し、中性化深さを推定し求めている。

その結果、中性化深さの推定値（外部遮へい壁：屋内3．7cm、屋外2．8cm）原子炉格納施設基礎：屋内4．1cm）は鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ（外部遮へい壁：屋内7．0cm、屋外8．0cm、原子炉格納施設基礎：屋内10．0cm）を下回り、中性化による強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の中性化による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

4）塩分浸透による強度低下

本事象の評価点として、屋外施設で直接海水に触れるか、または海岸から近く、塩分浸透の可能性の高い取水構造物及び外部遮へい壁を抽出している。

次に、劣化事象の進展評価として、コンクリート中に塩化物イオンが浸透すると鉄筋表面の保護膜が破壊されるため鉄筋の腐食が徐々に進行し、腐食による体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥落が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるとしている。

健全性の評価では、供試体を採取して測定した塩化物イオン量より森永式により推定した、運転開始後 60 年時点の鉄筋の腐食減量が取水構造物で約$9．3\times10^{-4}g/cm^2$、外部遮へい壁で約$5．9\times10^{-4}g/cm^2$ となり、それぞれ、かぶりコンクリートにひび割れが発生すると想定される鉄筋の腐食減量約$90．1\times10^{-4}g/cm^2$ および約$85．9\times10^{-4}g/cm^2$ を下回り、塩分浸透によるコンクリートの強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしている。

外部遮へい壁については、塩害に対する予防保全策として、1987年に外壁全面を塗装し、塩害防止を計っているとしている。

さらに定期的に目視点検を実施しているが、鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は認められないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の塩分浸透による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

5）アルカリ骨材反応による強度低下

本事象の評価点として、評価対象構造物のコンクリート全般を対象としている。

次に、劣化事象の進展評価として、コンクリート中の反応性シリカを含む骨材とセ

メント等に含まれるアルカリが、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によってコンクリートにひび割れを生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるとしている。

健全性の評価では、定期的な目視検査を実施しているがアルカリ骨材反応に起因するひび割れ等が認められないこと、骨材について１９８５年モルタルバー法（ASTM-C227）による反応性試験を実施し、反応性骨材でないことを確認していることより、アルカリ骨材反応による強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物のアルカリ骨材反応による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

6）機械振動による強度低下

本事象の評価点として、比較的大きな振動を受ける部位として、原子炉補助建屋の非常用ディーゼル発電機基礎、タービン建屋のタービン架台を抽出している。

次に、劣化事象の進展評価として、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けるとひび割れが発生し、ひいては損傷に至る可能性があるとしている。

健全性の評価では、機械の異常振動が認められないこと、これまでの目視点検で機器の定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れ等は認められないことから、機械振動によるコンクリートの強度低下は長期健全性評価上問題とならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の機械振動による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

7）熱による遮へい能力低下

本事象の評価点として、放射線照射量が最も大きく、かつ運転時最高温度となる内部コンクリート（1次遮へい壁）を抽出している。

次に、劣化事象の進展評価として、コンクリートが周辺環境からの伝達熱及び放射線照射による内部発熱を受けると、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮へい能力が低下する可能性があるとしている。

健全性の評価では、1次遮へい壁のうち最も高温となる RV サポート直下部のコンクリートの最高温度は温度分布解析結果を行った結果約６４℃となり、中性子遮へいの温度制限値８８℃以下およびガンマ線遮へいの温度制限値１７７℃以下となっていることより、長期健全性評価上問題にならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、コンクリート構造物の熱による遮へい能力低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

8) 鉄骨の腐食による強度低下

本事象の評価点として、重要な設備を収納する原子炉補助建屋の燃料補助建屋鉄骨部、タービン建屋鉄骨部および特高開閉所を抽出している。

次に、劣化事象の進展評価として、鉄は一般的に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。海塩粒子等により、腐食が促進され、さらに腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性があるとしている。

健全性の評価では、塗膜・鉄骨部材の耐用年数を建築学会評価式より算定し、定期的な目視点検と組合せて適切な塗装の塗替え等を実施することで、鉄骨構造物の腐食による強度低下は健全性評価上問題にならないとしている。

これらの評価内容を高経年化技術評価審査マニュアルに基づき審査した結果、鉄骨構造物の腐食による強度低下に関する高経年化技術評価内容は妥当と判断する。

(3) 追加保全策

コンクリートの強度低下に関しては、現状保全に加えて、今後はリバンウンドハンマー (シュミットハンマー) によるコンクリートの強度推定を行う非破壊試験を定期的に外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋 (タービン架台) において実施すること等により、急激な経年変化が生じていないか確認するとしている。

コンクリートの遮へい能力低下に関して、現状保全に追加する保全策はないとしている。

鉄骨の強度低下に関しては、現状保全に追加する保全策はないとしている。

これら各劣化事象に関する追加保全策は、上記の長期健全性評価結果から妥当と判断する。

12. 計測制御設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

計測制御設備は、計測装置、補助継電器盤及び操作監視盤に種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表12　計測制御装置の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
特性変化	プロセス計測制御設備の伝送器、検出器、信号変換処理部、電源装置、電流/空気変換器、自動/手動操作器、指示計、記録計、前置増幅器、ディーゼル発電機制御盤の電圧調整装置、保護リレー、回転数検出装置、指示計、電圧設定器、ロックアウトリレー
絶縁低下	プロセス計測制御設備の測温抵抗体 ディーゼル発電機制御盤の計器用変圧器、保護リレー、励磁装置
応力腐食割れ	プロセス計測制御設備の計装配管

(2) 審査結果のまとめ

1) 特性変化

特性低下は、プロセス計測制御設備の伝送器、検出器、信号変換処理部等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、原子炉施設の異常状態環境内で機能要求される伝送器及び検出器を除き、定格値に対して十分低い範囲で使用されていること等により健全性が評価されている。原子炉施設の異常状態環境内で機能要求される伝送器及び検出器については 26～60 年間の通常運転と設計想定事故を想定した耐環境試験により健全性が評価され、60 年間の評価に満たない伝送器及び検出器については、今後、取替を検討していくことが計画されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、プロセス計測制御設備の伝送器、検出器、信号変換処理部等の特性変化に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 絶縁低下

絶縁低下は、プロセス計測制御設備の測温抵抗体及びディーゼル発電機制御

盤の計器用変圧器、保護リレー、励磁装置において着目すべき経年劣化事象として抽出され、このうち原子炉施設の異常状態環境内で機能要求される測温抵抗体は、32 年間の通常運転と設計想定事故を想定した耐環境試験により健全性が評価され、今後、取替を検討していくことが計画されている。また制御盤の計器用変圧器、保護リレー、励磁装置については、試験等により 10～60 年間の健全性が評価されており、60 年間の評価に満たないものは取替等が実施されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、プロセス計測制御設備の測温抵抗体及びディーゼル発電機制御盤の計器用変圧器、保護リレー、励磁装置の絶縁低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

3) 応力腐食割れ

応力腐食割れは、プロセス計測制御設備の計装配管において着目すべき経年劣化事象として抽出され、溶接部において発生の可能性があり、漏えい試験時に健全性確認が実施されているとともに、今後、国プロで得られる知見を反映していくことを検討することが計画されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、プロセス計測制御設備の計装配管の応力腐食割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

13. 空調設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

空調設備は、ファン、空調機、冷凍機、フィルタユニット、ダクト及びダンパ・弁に種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表13　空調設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
磨耗	ベルト駆動ファンのVプーリ 格納容器R-11・12隔離弁ステムナット及び歯車
全面腐食	ファン主軸 チラーユニット炭素鋼使用部位、ダクト外板大気取入部 各種弁の弁箱等の内面
異種金属接触腐食	チラーユニット凝縮器管側耐圧構成品
絶縁特性低下	ファンモータ、チラーユニット用圧縮機モータ及び 格納容器R-11・12隔離弁モータの固定子コイル、口出線・接続部品
エロージョン・コロージョン	チラーユニット凝縮器及び蒸発器の伝熱管内面
ばねの変形	ダンパ駆動装置のばね、各種弁の空気作動装置ばね
固着	ダンパシャフト

(2) 審査結果のまとめ

1) 磨耗

磨耗は、ベルト駆動ファンのVプーリ並びに一部の格納容器隔離弁ステムナットと歯車との嵌合部における着目すべき経年劣化事象として抽出され、Vプーリについては Vベルトの張力管理及び分解時のVプーリの目視点検により摩耗の有無が確認されている。隔離弁ステムナット及び歯車の摩耗については、駆動装置の作動回数が少ない上、1回当たりの作動時間も短かいことから摩耗の可能性は無いとしている。また、潤滑油により摩耗防止が図られていること及び分解点検時の目視点検により摩耗の有無が確認されている。さらに、数千回の開閉試験が実施され、開閉機能に問題の無いことが確認されている。

これら内容は評価と保全の両面から評価されたものであり、V プーリ等の磨耗に関する高経年化技術評価内容として妥当であると判断する。

2) 全面腐食

ファン主軸等の炭素鋼使用部位に抽出されているが、内部流体がフィルタ処理後の清浄空気の場合、これまでの目視点検で有意な腐食が認められていないこと、大気の場合は亜鉛メッキまたは塗装で防食されており、メッキや塗膜の健全性が保つことで健全性が維持できること、純水や海水の場合は文献データにより推定した 60 年時点の腐食量が腐食代より十分小さいと評価され、これまでの目視点検でも腐食の無いことが確認されていることから、評価内容として妥当であると判断する。

3) 異種金属接触腐食

チラーユニットの水室と銅合金クラッド鋼管板が海水中で接触した場合を想定し、異種金属接触腐食を抽出していることは適切である。水室の海水接液面は全面塗装されており、定期的な目視検査により塗膜の状況を確認することで健全性を維持出来るとすることは妥当と判断する。

4) 絶縁特性低下

絶縁特性低下は、ファン、隔離弁等のモータの固定子コイル、口出線・接続部品において着目すべき経年劣化事象として抽出され、別途評価されている低圧ポンプモータと同様の評価であるとされている。

これらの評価内容は、低圧ポンプモータについての審査結果と同様高経年化技術評価内容として妥当と判断する。

5) エロージョン・コロージョン

チラーユニットの凝縮器及び蒸発器伝熱管内面において抽出され、伝熱管内の海水及び純水の流速が潰食発生限界流速以下に設計されていること及び凝縮器及び蒸発器とも定期的に渦電流探傷検査が実施され、前者は適切な施栓、後者では減肉は認められていないとしており、今後も健全性が維持されるとの評価は妥当と判断する。

6) ばねの変形

ダンパ、弁の空気作動部スプリングにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、作用応力が弾性範囲内であること及び使用環境温度が実用範囲上限より低いこと、さらに、作動確認によりストロークに変化がないことが確認されていることから、健全性が維持されるとしているのは妥当と判断する。

7) 固着

固着は、ダンパシャフトにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、定期的な作動確認及び必要に応じて潤滑油の補充による保全により、健全性が維持出来るとの評価内容は妥当であると判断する。

14. 機械設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

機械設備について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられている。現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表14　機械設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	部　位
中性子照射脆化	原子炉容器サポート（補強材、ボルト）
摩耗	原子炉容器サポート（パッド、ヒンジ） 蒸気発生器サポート（パッド、ヒンジ） 計器用空気圧縮機（主軸、ピストンロッド、リストピン、クロスヘッド、クロスヘッドガイド、V プーリ） 燃料取換クレーン（走横行レール及び車軸、ロッキングカム、下部プレート、電磁ブレーキのライニング） 燃料移送装置（チェーン(ブッシュ部)、電磁ブレーキのライニング、モータの固定子） 制御棒駆動装置（ラッチ機構プランジャー、ラッチアーム、駆動軸） 制御棒クラスタ（被覆管）
疲労割れ	蒸気発生器サポート（ヒンジ溶接部） 加圧器サポート（加圧器スカート溶接部） 制御棒駆動装置（圧力ハウジング）
絶縁低下	計器用空気圧縮機モータ（固定子コイル、口出線・接続部品） 燃料取換クレーン（モータの固定子、電磁ブレーキの固定子鉄心、指速発電機、変圧器） 燃料移送装置（電磁ブレーキの固定子鉄心、変圧器） 制御棒駆動装置（コイル）
腐食 （全面腐食含）	計器用空気圧縮機ドレンセパレータ（仕切板、バッフル、銅板・鏡板（内面）） 計器用空気圧縮機空気だめ（銅板・鏡板・マンホール（内面）） 計器用空気乾燥器入口弁、計器用空気乾燥器出口弁（弁箱、弁蓋） 計器用空気乾燥器（クーラ伝熱管等）

	スタッドボルト（直上部） メカニカルアンカ（直上部及びコンクリート埋設部） ケミカルアンカ（直上部）
特性変化	計器用空気圧縮機計器（潤滑油スイッチ、空気だめ圧力検出器、空気温度検出器）
特性低下	燃料取換クレーン（ロードセル、荷重監視装置、シーケンサ、速度制御装置）
変形	計器用コンプレッサインタークーラ安全弁、計器用コンプレッサインタークーラ安全弁、計器用空気圧縮機空気だめ安全弁（ばね） 燃料取換クレーン（エアシリンダ、グリッパのばね、電磁ブレーキのばね） 燃料移送装置（キックスプリングのばね、電磁ブレーキのばね） 制御棒駆動装置（ばね）
応力腐食割れ	制御棒駆動装置（圧力ハウジングのキャノピーシール）
照射誘起割れ	制御棒クラスタ（被覆管先端部）
劣化	ケミカルアンカ（樹脂）

(2)　審査結果のまとめ

1) 中性子照射脆化

中性子照射脆化は、原子炉容器サポートの補強材、ボルト等で着目すべき経年劣化事象として抽出された。中性子照射脆化の健全性評価として、破壊力学により評価を実施しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、蒸気発生器の管板拡管部及び拡管境界部等の応力腐食割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 摩耗

摩耗は、原子炉容器サポートのパッド等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。原子炉容器サポート、蒸気発生器サポート（パッド、ヒンジ）等は、ホルムの理論式により摩耗量を推定し、健全性を評価していることから技術評価については妥当と判断した。

計器用空気圧縮機の主軸等は寸法計測を実施していること、計器用空気圧縮機のVプーリは摩耗の有無を目視点検により健全性を評価していることから高経年化技術評価については妥当と判断した。

燃料取扱設備（クレーン関係）の走横行レール及び車軸については、ころがり接触であること及び保全結果により健全性が評価されていること、マストチューブのガイドローラ・軸受、グリッパの軸受は保全により摩耗を確認していること、ロッキ

ンガムについては、作動検査、隙間計測を実施していること、電磁ブレーキのライニングについては、許容摩耗量より評価されていること、下部プレートについては、フィンガの面間寸法計測が実施していることから高経年化技術評価については妥当と判断した。

燃料移送装置のチェーン(ブッシュ部)については、定期検査時の計測データより摩耗による伸び量を評価し、摩耗が急激に進展する可能性は小さいと評価していること、電磁ブレーキのライニングは、許容摩耗量から健全性を評価していることから高経年化技術評価については妥当と判断した。

制御棒駆動装置のラッチ機構プランジャー、ラッチアーム、駆動軸については、許容摩耗量と６０年時点での推定摩耗量を算出し比較することにより健全性を評価しており高経年化技術評価については妥当と判断した。

制御棒クラスタの摩耗測定結果から摩耗の進行を評価することにより健全性を評価しており高経年化技術評価については妥当と判断した。

3) 疲労割れ

疲労割れは、蒸気発生器サポートのヒンジ溶接部等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。蒸気発生器サポートのヒンジ溶接部等は、応力算出を行い、疲労評価を実施し、健全性を評価しており、これらの評価内容を高経年化技術評価マニュアルに基づき審査した結果、蒸気発生器サポートのヒンジ溶接部等の疲労割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

但し、加圧器サポートについては、実過渡回数を確認することとなっており妥当と判断した。

4) 絶縁特性低下

絶縁特性低下は、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。計器用空気圧縮機モータの固定子コイル等の健全性評価については、ポンプモータ及び弁の技術評価参照のこと。

燃料取換クレーンのモータの固定子の健全性評価については、ポンプモータ及び弁の技術評価参照のこと。

電磁ブレーキの固定子鉄心、指速発電機、変圧器については、絶縁抵抗測定試験等を実施しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、電磁ブレーキの固定子鉄心、指速発電機、変圧器に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

燃料移送装置の電磁ブレーキの固定子鉄心、変圧器については、絶縁抵抗測定試験等を実施しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、燃料移送装置の電磁ブレーキの固定子鉄心、変圧器に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

制御棒駆動装置のコイルについては、加速劣化試験を実施しており、これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、制御棒駆動装置のコイルに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

5) 腐食

腐食は、計器用空気圧縮機ドレンセパレータの仕切板等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。計器用空気圧縮機ドレンセパレータの仕切板等は、60年時点での腐食量と腐れ代を比較し健全性を評価していることから高経年化技術評価は妥当と判断した。

基礎ボルトの直上部及びコンクリート埋設部の健全性評価として、原子力発電所の立地環境を考慮し、日本原子力発電の東海発電所、美浜1号機の基礎ボルト調査結果（メカニカルアンカについては福島第一1号機の結果も考慮）を考慮して健全性を評価していることから高経年化技術評価は妥当であると判断した。

但し、基礎ボルトの直上部及びコンクリート埋設部については、腐食に加え、付着力の観点も考慮したサンプル調査を実施することとなっている。空気抽出器の胴等は、渦流探傷試験（ECT）による減肉の進行状況の把握を計画することとなっており妥当と判断した。

6) 特性変化

特性低下は、計器用空気圧縮機計器の潤滑油スイッチ等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。計器用空気圧縮機計器の潤滑油スイッチは、耐圧性、耐食性等を考慮した材料を選定し設計することにより健全性を評価していることから高経年化技術評価については妥当と判断した。

7) 特性低下

特性低下は、燃料取換クレーンのロードセル等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。燃料取替クレーンのロードセル特性低下の健全性評価としては、ひずみゲージの特性変化ははがれによるものであるが、貼り付け部は気密構造になっていることよりはがれが活性する可能性が小さいと評価しているので高経年化技術評価については妥当と判断した。

また、荷重監視装他の特性低下の健全性評価としては、電気回路部は定格値に対して十分低い範囲で使用する設計となっていること等により特性変化が発生する可能性は小さいと評価しているので技術評価については妥当と判断した。

8) 変形

変形は、計器用コンプレッサインタークーラ安全弁のばね等、表に示すような箇所で着目すべき経年劣化事象として抽出された。計器用コンプレッサインタークーラ安全弁等のばねの健全性評価としては、日本ばね工業会にて実施した実態調査と比較して健全性を評価していることから高経年化技術評価は妥当であると判

断した。

また、燃料取換クレーンのエアシリンダ等は、使用環境及び点検結果等により健全性を評価していることから高経年化技術評価は妥当であると判断した。

9) 応力腐食割れ

応力腐食割れは、制御棒駆動装置の圧力ハウジングのキャノピーシールで着目すべき経年劣化事象として抽出された。制御棒駆動装置の圧力ハウジングのキャノピーシールは、腐食電位と臨海電位を比較し、許容値以下であることを確認することにより健全性を評価しており、これらの評価内容を高経年化技術評価マニュアルに基づき審査した結果、制御棒駆動装置の圧力ハウジングのキャノピーシールの応力腐食割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

但し、上部・中間のキャノピーシールについては、定期検査毎の漏えい試験により健全性の確認を行っていく。なお、BWRプラントにおいて発生している接液表面硬化層等に起因すると考えられる応力腐食割れに対しては，国プロジェクト「原子力用ステンレス鋼の耐応力腐食割れ実証事業」などにより、現在材料データの拡充が図られていることから、その知見等がPWR水質環境下における今後の保全に反映すべきものであるか検討していく事となっており妥当と判断した。

10) 照射誘起割れ

照射誘起割れは、制御棒クラスタの被覆管先端部で着目すべき経年劣化事象として抽出された。制御棒クラスタの被覆管先端部の照射誘起割れの健全性評価として、外径測定、照射後試験により健全性を評価しており高経年化技術評価は妥当であると判断した。

11) 劣化

劣化は、ケミカルアンカの樹脂で着目すべき経年劣化事象として抽出された。ケミカルアンカの樹脂の健全性評価として、直接紫外線にさらされることはなく、また、40 年相当の紫外線加速照射後の引抜試験においても、引抜力の低下は認められていないこと、さらに、サンプル調査の結果からも、引抜き力の低下はないことから高経年化技術評価については妥当と判断した。

但し、基礎ボルトの樹脂の劣化は、取替等、適切な機会を利用してサンプル調査を実施することとなっており妥当と判断した。

15. 電源設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

電源設備は、高圧閉鎖配電盤、動力用変圧器、低圧閉鎖配電盤、コントロールセンタ、ディーゼル発電設備、MG セット、直流電源設備、計測制御用変圧器及び計測用制御分電盤に種別分けされ、標準審査要領の標準フローに基づき、これらの機器の着目すべき経年劣化事象として次の事象が抽出されている。これらは現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表15 電源設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	発生部位
絶縁低下	非常用ディーゼル発電機の固定子コイル、口出線・接続部品、回転子コイル、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプモータの固定子コイル、口出線・接続部品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油タンクのヒータ、直流電源設備の電磁接触器、変圧器、保護リレー、計器用電源設備の変圧器、制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤の不足電圧引外装置
特性変化	非常用ディーゼル発電機関の圧力・温度スイッチ、直流電源設備の出力制御装置、保護リレー、計器用電源設備の出力調整装置、制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤の不足電圧引外装置
全面腐食	非常用ディーゼル発電機関の純水接液部、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのケーシング、ケーシングカバー、熱交換器の耐圧構成品等、タンクの胴板等耐圧構成品の内面、屋外タンクの支持脚の外面、海水ストレーナの胴板等耐圧構成品、配管の母管の内面、屋外配管の母管の外面、弁の弁箱、弁蓋の内面
腐食	非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品
異種金属接触腐食	非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品、海水ストレーナ入口弁の弁箱・弁座
エロージョン・コロージョン	非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器伝熱管、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の伝熱管内面、胴側耐圧構成品
キャビテーション	非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプデフレクタ

着目すべき経年劣化事象	発生部位
固着	非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプ調整装置組立品各リンク、制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤のリンク機構
変形	非常用ディーゼル発電機関の燃料油供給ポンプ圧力調整弁等のばね、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのリリーフ弁ばね、主始動弁のばね、制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤のばね
スケール付着	非常用ディーゼル発電機関の空気冷却伝熱管、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の伝熱管
クリープ	非常用ディーゼル発電機関の過給機タービンロータ、排気管伸縮継手
摩耗	非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油プライミンポンプの歯車及びケーシング
摩耗及び 高サイクル疲労割れ	非常用ディーゼル発電機関付属設備の清水冷却器の伝熱管
孔食･隙間腐食	非常用ディーゼル発電機関付属設備の内部流体が海水の弁の弁箱･弁蓋･弁体･弁座･弁棒

(2) 審査結果のまとめ

1) 絶縁低下

絶縁低下は、非常用ディーゼル発電機等の固定子コイル、口出線･接続部品、回転子コイル、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油タンクのヒータ等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、このうちディーゼル発電機等の固定子コイル、口出線･接続部品、回転子コイルは別途評価されているポンプモータと同様の評価であるとされ、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油タンクのヒータは健全性評価が困難であるものの現状保全が的確に実施されているとされ、他はサンプリング調査、試験等により 20～40 年間の健全性が評価され、評価期間内までに取替等が実施されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機等の固定子コイル、口出線･接続部品、回転子コイル、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油タンクのヒータ等の絶縁低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

2) 特性変化

特性変化は、非常用ディーゼル発電機関の圧力・温度スイッチ、直流電源設備の出力制御装置、保護リレー等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、これらの機器は使用材料・使用環境等により短期間で著しい特性変化に至る可能性が小さいと評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の圧力・温度スイッチ、直流電源設備の出力制御装置、保護リレー等の特性低下に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

3) 全面腐食

全面腐食は、非常用ディーゼル発電機関の純水接液部、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのケーシング、ケーシングカバー等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、酸素含有水中における炭素鋼の腐食に及ぼす影響評価等により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の純水接液部、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのケーシング、ケーシングカバー等の全面腐食に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

4) 腐食

腐食は、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品において着目すべき経年劣化事象として抽出され、電気防食を行っていること及び 60 年後の推定腐食減肉量の評価により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品の腐食に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

5) 異種金属接触腐食

異種金属接触腐食は、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、ライニングが剥離する評価は困難であるため、ライニングの目視点検が実施されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器管側構成品、非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の管側耐圧構成品の異種金属接触腐食に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

6) エロージョン･コロージョン

エロージョン･コロージョンは、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器伝熱管等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、管内流速等により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却器伝熱管等のエロージョン･コロージョンに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

7) キャビテーション

キャビテーションは、非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプデフレクタにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、過去の運転実績等により健全性が評価されている。

この評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプデフレクタのキャビテーションに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

8) 固着

固着は、非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプ調整装置組立品の各リンク及び制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤のリンク機構において着目すべき経年劣化事象として抽出され、燃料噴射ポンプ調整装置組立品の各リンクについては定期的な注油及び摺動抵抗の測定により健全性が評価され、原子炉トリップ遮断器盤のリンク機構については試験によって健全性が評価されている。

この評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の燃料噴射ポンプ調整装置組立品の各リンク及び制御棒駆動装置用電源設備のうち原子炉トリップ遮断器盤のリンク機構の固着に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

9) 変形

変形は、非常用ディーゼル発電機関の燃料油供給ポンプ圧力調整弁等のばね、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのリリーフ弁ばね等において着目すべき経年劣化事象として抽出され、使用環境及び点検結果等により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の燃料油供給ポンプ圧力調整弁等のばね、非常用ディーゼル発電機関付属設備のポンプのリリーフ弁ばね等の変形に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

10) スケール付着

スケール付着は、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却伝熱管及び非常用ディ

ーゼル発電機関付属設備の熱交換器の伝熱管において着目すべき経年劣化事象として抽出され、スケール付着の定量的な評価が困難であるため、ブラシ洗浄、出口温度等のパラメータ監視が実施されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の空気冷却伝熱管及び非常用ディーゼル発電機関付属設備の熱交換器の伝熱管のスケール付着に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

11) クリープ

クリープは、非常用ディーゼル発電機関の過給機タービンロータ及び排気管伸縮継手において着目すべき経年劣化事象として抽出され、発生応力からクリープ破断時間を評価することにより健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関の過給機タービンロータ及び排気管伸縮継手のクリープに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

12) 摩耗

摩耗は、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油プライミングポンプの歯車及びケーシングにおいて着目すべき経年劣化事象として抽出され、過去の使用実績等により健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関付属設備の潤滑油プライミングポンプの歯車及びケーシングの摩耗に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

13) 摩耗及び高サイクル疲労割れ

摩耗及び高サイクル疲労割れは、非常用ディーゼル発電機関付属設備の清水冷却器の伝熱管において着目すべき経年劣化事象として抽出され、保全結果に基づいて健全性が評価されている。

この評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関付属設備の清水冷却器の伝熱管の摩耗及び高サイクル疲労割れに関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

14) 孔食･隙間腐食

孔食･隙間腐食は、非常用ディーゼル発電機関付属設備の内部流体が海水の弁の弁箱･弁蓋･弁体･弁座･弁棒において着目すべき経年劣化事象として抽出され、保全結果に基づいて健全性が評価されている。

これらの評価内容を高経年化技術審査マニュアルに基づき審査した結果、非常用ディーゼル発電機関付属設備の内部流体が海水の弁の弁箱･弁蓋･弁体･弁座･弁棒の伝熱管の孔食･隙間腐食に関する高経年化技術評価内容は妥当であると判断した。

16. その他設備

(1) 着目すべき経年劣化事象

その他設備について、標準審査要領の標準的な流れに従い、着目すべき経年劣化事象として抽出されたものは、次の事象が挙げられており、現在の技術的知見等を踏まえると妥当である。

添付表16 その他設備の着目すべき経年劣化事象

着目すべき経年劣化事象	部 位 等
腐食(エロージョン・コロージョン)	蒸気室鏡板(内面)、蒸気室胴板(内面)、蒸気室側フランジ(内面)
腐食	支持脚(スライド部)
応力腐食割れ	伝熱管、邪魔板、支持棒、蒸発器鏡板、蒸発器胴板、蒸発器側フランジ
スケール付着	伝熱管

(1) 審査結果のまとめ

1) 腐食(エロージョン・コロージョン)

廃液蒸発装置の蒸気室内部を蒸気中に湿分が存在する2相流として流れる場合、炭素鋼使用部位にエロージョン・コロージョンが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。エロージョン・コロージョンの進行程度を、正確に定量的な評価を行うことは困難であるものの、蒸気の流速は遅く、これまでも有意な腐食は認められておらず、エロージョン・コロージョンの発生により機器の健全性に影響を与える可能性はないとする評価は妥当である。今後も定期的に目視検査を実施し、有意な腐食の無いことを確認していくとしており妥当である。

2) 腐食

支持脚(スライド部)の腐食が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。長期使用による腐食により、固着する可能性は否定できないものの、プラント起動時にスライド脚が正常に作動していることを確認しており妥当である。

3) 応力腐食割れ

オーステナイト系ステンレス鋼使用部位に対する応力腐食割れが着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。廃液が蒸発濃縮することにより、塩化物イオン濃度が上昇することとなり、また、温度も約 100℃超となることから、応

力腐食割れ発生の可能性は否定できないものの、廃液のリン酸塩処理により応力腐食割れ発生を抑制している。今後も定期的な目視点検等の実施が重要である。

4) スケール付着

蒸発器にはフィルタ等が設置されておらず、また、内部流体が廃液の場合には、不純物の発生の可能性があり、長期運転に当ってはスケール付着による伝熱性能の可能性を否定できないとして、伝熱管へのスケール付着が着目すべき経年劣化事象として抽出されており妥当である。スケール付着については、運転時に巡視点検等にてパラメータの監視や、必要に応じて伝熱管の洗浄を実施しており妥当である。

添付資料－2

標準審査要領に基づくチェックリスト（例）
（原子炉容器）（1／2）

美浜発電所３号機　原子炉容器（1/2）

審査ステップ			審査結果		
高経年化技術評価等	①体制		別途（一括審査）		
	②重要度分類クラス1、2、3の機器・構造物の抽出		別途（一括審査）		
	1つの機器を選定	機器種別	容　器		
		区分	原子炉容器		
		評価モデル機器	原子炉容器		
	③消耗品・定期取替品の抽出		Oリングが抽出されており妥当		
	④機能達成部位の抽出		上部鏡、上部胴、中間胴、下部胴、下部鏡、上部蓋フランジ、上部胴フランジ、冷却材入口管台、冷却材出口管台、蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物、スタッドボルト、Oリングが抽出されており妥当		
	⑤動的部位の抽出		該当部位なし		
	⑥使用材料及び環境の同定	環境	最高使用圧力；17.2Mpa、最高使用温度；323℃、内部流体；1次冷却材		
		使用材料	上部鏡（SQV2A）、上部胴・上部胴フランジ（SA508 Cl2）、中間胴・下部胴・下部鏡（SA533Gr.B Cl1）、上部蓋フランジ（SFVQ1A）、冷却材入口管台・冷却材出口管台（SA508 Cl2）、蓋用管台・空気抜用管台（インコネル 690）、炉内計装筒・炉心支持金物（インコネル 600）、スタッドボルト（SA540 B23）		
	⑦経年劣化事象の抽出		疲労割れ	応力腐食割れ	中性子照射脆化
	⑧経年劣化事象に対する評価点の抽出		上部鏡、上部胴、中間胴、下部胴、下部鏡、上部蓋フランジ、上部胴フランジ、冷却材入口管台、冷却材出口管台、蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物、スタッドボルト	冷却材入口管台、冷却材出口管台 炉内計装筒、炉心支持金物	中間胴、下部胴
	⑨経年劣化事象の発生又は進展の評価		プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力、流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、着目すべき経年劣化事象とする評価は妥当。	1次冷却材に接するインコネル600合金使用部位に対する応力腐食割れを、国内外のトラブル事例も参考とし着目すべき経年劣化事象とする評価は妥当。	炉心領域部について、中性子照射とともに関連温度が上昇し、上部棚領域部の靭性が低下することから、中性子照射脆化を着目すべき経年劣化事象とする評価は妥当。
	⑩着目すべき経年劣化事象の抽出		「上部鏡、上部胴、中間胴、下部胴、下部鏡、上部蓋フランジ、上部胴フランジ、冷却材入口管台、冷却材出口管台、蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物、スタッドボルト」の疲労割れ	「冷却材入口管台、冷却材出口管台 炉内計装筒、炉心支持金物」の応力腐食割れ	中間胴、下部胴の中性子照射脆化
	⑪健全性の評価		「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」及び「環境中疲れ寿命評価指針」に基づき疲労評価を実施し、許容値に対し余裕のあることが確認されており妥当。	現状の知見を踏まえて、インコネル600合金使用部位の応力・温度条件をもとに評価を行い、応力条件の厳しい炉内計装筒母材及び表面仕上げの行われていない炉内計装筒J溶接部について、応力腐食割れ発生の可能性は否定できないとする評価は妥当。	JEAC4201の脆化予測式による評価を実施し、特異な脆化は認められておらず、また、JEAC4206による加圧熱衝撃に対する評価を実施し、脆性破壊に対する抵抗が十分大きいことが確認されており妥当。
	⑫現状保全の評価		定期的に超音波探傷試験等により、有意な欠陥の無いことを確認するとともに、漏えい試験により耐圧部の健全性を確認しており妥当。	保安院指示文書による手法・頻度で検査を実施し有意な欠陥の無いことを確認するとともに、定期的に漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認しており妥当。また、炉内計装筒については異常の無いことを確認の上、第21回定期検査（2004年度～）においてウォータージェットピーニングを施工し、予防保全を実施しており妥当。	定期的に超音波探傷試験等により、有意な欠陥の無いことを確認するとともに、計画的に監視試験を実施し、将来の運転期間に対する脆化予測を行い、原子炉容器の健全性を評価しており妥当。
	⑬追加保全策の策定		念のため、定期的に実過渡回数による評価の実施	保安院指示文書に基づく継続的な検査の実施により健全性を確認していくとともに、国プロや民間の技術開発により得られた知見を踏まえ、き裂発生及び進展評価の予測手法の確立を図るとともに、応力改善などの予防保全技術を確立し、実機への適用を推進する。	脆化予測信頼性の観点から、国や民間の技術開発、規格基準化に積極的に参画し、実機への適用を検討する。
	⑭経年劣化事象の評価に係わる網羅性		網羅されている		
	⑮部位の評価に係わる網羅性		網羅されている		
	⑯機器・構造物の評価に係わる網羅性※1		当該機器のみ		
	⑰耐震安全性の評価、⑱耐震に係わる現状施設の評価、⑲耐震に係わる追加保全策の策定は別紙参照				

※　1：ここでは、評価モデル機器以外の同種類の機器の高経年化技術評価が、評価モデル機器の技術評価によって網羅されている場合はその妥当性を、個別に技術評価することによって網羅されている場合はその評価の妥当性を審査した。

標準審査要領に基づくチェックリスト(例)
(原子炉容器)(2／2)

美浜発電所３号機　原子炉容器(2/2)

審査ステップ			審査結果			
高経年化技術評価等	①体制		別途（一括審査）			
	②重要度分類クラス1、2、3の機器・構造物の抽出		別途（一括審査）			
	1つの機器を選定	機器種別	容　器			
		区分	原子炉容器			
		評価モデル機器	原子炉容器			
	③消耗品・定期取替品の抽出		前頁参照			
	④機能達成部位の抽出		前頁参照			
	⑤動的部位の抽出		前頁参照			
	⑥使用材料及び環境の同定	環境	前頁参照			
		使用材料	前頁参照			
	⑦経年劣化事象の抽出		腐食	ピッティング	アンダークラッドクラッキング	応力腐食割れ
	⑧経年劣化事象に対する評価点の抽出		スタッドボルト	上部蓋フランジ、上部胴フランジ	上部鏡、上部胴、中間胴、下部胴、下部鏡、上部蓋フランジ、上部胴フランジ	蓋用管台、空気抜用管台
	⑨経年劣化事象の発生又は進展の評価		締付け管理により漏えい防止を図っているとともに、開放点検時にボルトの状況を確認し、手入れを実施しており、着目すべき経年劣化事象ではないとする評価は妥当	開放点検時にフランジ面の状況を確認し、手入れが行われている。また、運転に入ると高温状態となるためシール部のステンレス鋼肉盛表面に強固な酸化皮膜が形成されるため、有意なピッティングの進展は考えられないとする評価は妥当。	材料の化学成分を踏まえ溶接入熱を管理し溶接が実施されており、き裂の発生する可能性は小さいとする評価は妥当。	蓋用管台、空気抜用管台はインコネル690合金製で、現時点の知見において応力腐食割れ発生の可能性は小さいとする評価は妥当。
	⑩着目すべき経年劣化事象の抽出		—	—	—	—
	⑪健全性の評価		—	—	—	—
	⑫現状保全の評価		—	—	—	—
	⑬追加保全策の策定		—	—	—	—
	⑭経年劣化事象の評価に係わる網羅性		前頁参照			
	⑮部位の評価に係わる網羅性		前頁参照			
	⑯機器・構造物の評価に係わる網羅性※1		前頁参照			
	⑰耐震安全性の評価、⑱耐震に係わる現状施設の評価、⑲耐震に係わる追加保全策の策定は別紙参照					

※ 1：ここでは、評価モデル機器以外の同種類の機器の高経年化技術評価が、評価モデル機器の技術評価によって網羅されている場合はその妥当性を、個別に技術評価することによって網羅されている場合はその評価の妥当性を審査した。

耐震安全性評価の概要

事業者による機器･構造物（以下、機器と記す）の耐震安全性評価の報告書について、下記観点から妥当性の審査を行った。

1) 評価対象機器の選定
2) 機器ごとの安全重要度、耐震クラス等の整理
3) 耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定
4) 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価
5) 地震時動的機能維持の評価（該当機器の場合）
6) 評価対象機器全体への展開（上記 1）項において、代表機器が選定された場合）
7) 保全策に反映すべき項目の抽出

特に、上記 4)項においては、下記点に着目した。

① 対象とする機器の耐震クラス
② 機器に作用する地震力の算定（基準地震動 S1: 270Gal、基準地震動 S2: 405Gal）
③ ６０年の供用を仮定した経年劣化事象のモデル化
④ 振動特性解析（地震応答解析）
⑤ 地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
⑥ 許容限界との比較

<u>1) 評価対象機器の選定、2) 機器ごとの安全重要度、耐震クラス等の整理</u>

事業者の報告書では、上記 1)について技術評価と同様に評価モデル機器の種別が１６種類に分類（ポンプ、熱交換器、ポンプモータ、容器、配管、弁、コンクリート及び鉄骨構造物、ケーブル、電気設備、タービン設備、炉内構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備（基礎ボルトを含む）、電源設備、その他設備）され、技術評価での代表機器に加え耐震クラスが上位の機器が代表機器として選定されている。上記 2)については、関連する「原子力発電所耐震設計技術指針」JEAG4601 等の分類に対応して整理されている。

<u>3) 耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定</u>

上記 3)については、まず、技術評価での検討結果を考慮して、発生しているか発生が否定できない経年劣化事象が選定･整理され、次に、顕在化すると機器の振動応答特性または構造･強度への影響が有意な経年劣化事象が選定･整理されている。影響が軽微若しくは無視できるとして選定されなかった経年劣化事象についてはその理由が示されており、選定結果は妥当と判断した。

4) 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価

上記 4)については、容器（原子炉容器）、配管（炭素鋼配管）を例として説明する。審査結果の要点を付表1に示す。

容器の代表機器とした原子炉容器（耐震クラスAs）では、上記 3)で冷却材入口及び出口の管台の疲労割れ、胴部の中性子照射による関連温度の上昇、炉内計装筒の応力腐食割れが選定され、各々、60年の供用を仮定した経年劣化事象として累積疲れ損傷、破壊靭性の低下、貫通き裂を想定し、耐震Asクラスの設計地震力から求めた発生応力等が許容限界以下となることが示されている。

胴部の中性子照射による関連温度の上昇の評価では、保守的に周方向の表面欠陥が仮想的に設定されて、地震荷重による応力拡大係数と加圧熱衝撃（内圧、熱）による応力拡大係数を組み合わせても破壊靭性を下回る（欠陥から破壊が生じない）ことが示されている。ここで、評価方法は（「原子力発電所用機器に対する破壊靭性の確認方法」JEAC4206-2004）が適用されている。炉内計装筒の応力腐食割れの評価では、地震荷重による応力に内圧等による応力が加算され、保守的に周方向の貫通欠陥が仮想的に設定されて、欠陥部位の残存断面の応力がき裂安定限界応力を下回る（欠陥から破壊が生じない）ことが示されている。ここで、評価方法としては、上記 JEAC4206-2004 と「発電用原子力設備規格　維持規格」（JSME S NA1-2004）等に示されている正味応力概念が適用されている。これらの経年劣化事象は振動特性に影響しない（剛性に影響しない）扱いになっている。

炭素鋼配管の代表機器とした主給水系統配管（耐震クラスAs）では、上記 3)で顕在化すると耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象として配管の疲労割れと腐食（エロージョン･コロージョン）が選定され、60年の供用を仮定した経年劣化事象として累積疲れ損傷と耐圧上の必要最小肉厚までの一様減肉を想定し、設計地震力から求めた応力に基づいて疲れ累積係数が許容限界1以下となる、あるいは系統中の最も大きい発生応力が許容応力以下となることが示されている。

同じく代表機器とした気体廃棄物処理系統配管（耐震クラスB）、復水器空気抽出系統配管（耐震クラスC）では、上記 3)で配管の腐食（全面腐食）が選定され、60年間の腐食量を想定した上で設計地震力から求めた系統中の最も大きい発生応力が許容応力以下となることが示されている。

地震による発生応力は、配管の振動特性に対して疲労割れ（累積疲れ損傷）は影響しない（剛性に影響しない）として、また腐食（全面腐食）や腐食（エロージョン･コロージョン）による減肉は影響するとして、設計地震力を用いて求められている。腐食（エロージョン･コロージョン）による減肉に対する評価は、系統内のすべての配管において NISA 指示文書（NISA-163a-05-1）で偏流発生部とされるエルボ部、レジュー

サ部等の偏流部及びその下流部に保守的に一様減肉を想定→保守的に耐圧上の必要最小肉厚まで減肉させた場合の応力を評価→内圧等による応力を加算、の手順で関連規格（JEAG4601-1987）に基づく許容応力との比較が行われている。

他方、上記の評価結果を評価対象機器全体に展開した結果、低温再熱蒸気系統配管、第1抽気系統配管、第2抽気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、グランド蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管の炭素鋼配管（いずれも耐震Cクラス）で、顕在化すると耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象として腐食（エロージョン・コロージョン）が選定され、代表機器と同様にして必要最小肉厚までの一様減肉を想定し、当該配管系統内の発生応力が評価されている。その結果、ドレン系統配管以外の配管では系統中の最も大きい発生応力が許容応力以下となることが示されている。

ドレン系統配管では、実態に近い保守的な評価として、肉厚測定による実測データに基づいて同一ライン内で最も減肉が進んだ箇所が必要最小肉厚に達する時点に着目→当該時点での各減肉評価対象箇所毎の板厚分布を想定して応力を評価、の手順で応力を評価することにより、系統中の最も大きい発生応力が許容応力以下となることが示されている。

また、補助給水系統配管（耐震Asクラス）では腐食（全面腐食）が選定され、代表機器と同様にして60年間の腐食量を想定した上で設計地震力から求めた系統中の最も大きい発生応力が許容応力以下となることが示されている。

以上、容器（原子炉容器）、配管（炭素鋼配管）では経年劣化事象ごとに上記①～⑤の着目点に対応して定量的に評価されており、いずれも発生応力等が許容限界以下となるとの評価結果は妥当と判断した。

これら以外の機器についても、ポンプ、熱交換器、ポンプモータ、弁、電気設備、タービン設備、炉内構造物、空調設備、機械設備（基礎ボルトを含む）、電源設備、その他設備の耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象が選定され、耐震安全性が適切に評価されており、いずれも発生応力等が許容限界以下となるとの評価結果は妥当と判断した。

5) 地震時動的機能維持の評価

上記5)については、上記3)、4)の評価結果に基づいて、動的を含む地震時機能維持が要求されるポンプ、ポンプモータ、弁、電気設備、タービン設備、炉内構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備の機能維持に経年劣化事象は影響しないとされており、妥当と判断した。

6) 評価対象機器全体への展開

上記 6)については、付表1に示した炭素鋼配管の例以外にも、熱交換器、容器、配管、電気設備、電源設備を対象として代表機器以外の機器の耐震安全性評価に必要な経年劣化事象の選定と評価が具体的に展開されており、妥当と判断した。

7) 保全策に反映すべき項目の抽出

事業者の報告書では、上記 7)において、配管を除く機器については耐震上の観点から保全策に追加すべき項目は抽出されなかったとしているが、配管については「配管減肉において、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管については、今後の減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を行なうために、肉厚測定による減肉傾向の把握及びデータ蓄積を継続して行う必要がある。」としている。

このように、耐震性の観点から、配管減肉管理を長期保全計画に反映することは妥当と判断した。

付表１　耐震安全性評価に対する審査結果の要点（原子炉容器、炭素鋼配管の例）

審査ステップ		審査結果					
1)評価対象機器の選定		安全重要度分類のクラス１、２に該当する機器、及びクラス３の高温、高圧の環境下にある機器が選定されており妥当					
2)機器ごとの安全重要度、耐震クラス等の整理		機器ごとの安全重要度、耐震クラス、使用材料等が整理されたリストは妥当					
１つの機器を選定	機器種別	容器			配管		
	区分	原子炉容器			炭素鋼配管		
	評価モデル機器	原子炉容器			主給水系統配管		下記 6)項参照
使用材料及び環境	環境	最高使用圧力:17.2Mpa、最高使用温度:343℃、流体：１次冷却材			最高使用圧力:10.8MPa、最高使用温度:230℃、流体:給水		－
	使用材料	低合金鋼（内面ステンレス鋼内張り）			炭素鋼		炭素鋼
3)耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定		・経年劣化事象が影響する機器の機能、部位が整理されたリストは妥当 ・耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定が整理されたリストは妥当 ・有意としない経年劣化事象の根拠が示されており妥当					
有意な経年劣化事象の選定	経年劣化事象	疲労割れ	中性子照射による関連温度上昇	応力腐食割れ	疲労割れ	腐食（エロージョン・コロージョン）	腐食（エロージョン・コロージョン）
	評価部位	管台等	胴部（炉心領域部）	炉内計装筒等	ＣＶ内 ループＣ	母管の内面	母管の内面
4)経年劣化事象ごとの耐震安全性評価	①耐震クラス	Ａｓであり妥当	Ａｓであり妥当	Ａｓであり妥当	As であり妥当	As であり妥当	C であり妥当
	②機器に作用する地震力の算定	基準地震動 S_2 に基づく地震力を適用しており妥当	基準地震動 S_2 に基づく地震力を適用しており妥当	基準地震動 S_2 に基づく地震力を適用しており妥当	基準地震動 S_2 に基づく地震力を適用しており妥当	基準地震動 S_2 に基づく地震力及び A クラス地震力を適用しており妥当	C クラス静的地震力を適用しており妥当
	③60 年の供用を仮定した経年劣化事象のモデル化	累積疲労損傷を想定しており妥当	運転開始後 60 年間の照射による靭性低下に加え、保守的な評価として周方向の欠陥を想定しており妥当	保守的な評価としてスリット状の貫通き裂を想定しており妥当	累積疲労損傷を想定しており妥当	必要最小肉厚までの一様減肉を想定しており妥当	減肉評価対象箇所において一律に必要最小肉厚までの一様減肉を想定、あるいは同一ライン内で最も減肉が進んだ箇所が必要最小肉厚に達する時点での各減肉評価対象毎の肉厚分布を想定しており妥当
	④振動特性解析（地震応答解析）	疲労割れが振動特性に影響せずとしていることは妥当	中性子照射脆化が振動特性に影響せずとしていることは妥当	応力腐食割れが振動特性に影響せずとしていることは妥当	疲労割れが振動特性に影響せずとしていることは妥当	減肉による剛性低下の振動特性に対する影響を考慮しており妥当	該当せず （静的地震力）
	⑤地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ	地震荷重による疲れ累積係数と供用状態による疲れ累積係数とを組合せており妥当	地震荷重による応力拡大係数と加圧熱衝撃（内圧、熱）による応力拡大係数を組合せており妥当	地震荷重による応力と自重及び内圧等による応力を組合せており妥当	地震荷重による疲れ累積係数と供用状態による疲れ累積係数とを組合せており妥当	地震荷重による応力と自重及び内圧による応力を組合せており妥当	地震荷重による応力と自重及び内圧による応力を組合せており妥当
	⑥許容限界との比較	疲れ累積係数が許容限界 1 以下との評価は妥当	応力拡大係数が破壊靭性を下回るとの評価は妥当	発生応力がき裂安定限界応力以下との評価は妥当	疲れ累積係数が許容値 1 以下との評価は妥当	発生応力が許容応力以下との評価は妥当	発生応力が許容応力以下との評価は妥当
5)地震時動的機能維持の評価		該当せず	該当せず	該当せず	該当せず	該当せず	該当せず
6)評価対象機器全体への展開		該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	※1 （評価は上記）
7)保全策に反映すべき項目の抽出		上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	今後の減肉進展の実績を反映した耐震安全性評価を行なうために、肉厚測定による減肉傾向の把握及びデータ蓄積を継続して行う必要があるとすることは妥当	

※1:低温再熱蒸気系統配管、第1抽気系統配管、第2抽気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、グランド蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管

付表１　耐震安全性評価に対する審査結果の要点（原子炉容器、炭素鋼配管の例）

審査ステップ		審査結果			
1)評価対象機器の選定		安全重要度分類のクラス１、２に該当する機器、及びクラス３の高温、高圧の環境下にある機器が選定されており妥当			
2)機器ごとの安全重要度、耐震クラス等の整理		機器ごとの安全重要度、耐震クラス、使用材料等が整理されたリストは妥当			
１つの機器を選定	機器種別	配管			
	区分	炭素鋼配管			
	評価モデル機器	復水器空気抽出系統配管	気体廃棄物処理系統配管	下記 6)項参照	
使用材料及び環境	環境	最高使用圧力:-0.1MPa、最高使用温度:80℃、流体:空気・蒸気	最高使用圧力:0.98MPa、最高使用温度:95℃、流体:希ガス等	－	
	使用材料	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	
3)耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定		・経年劣化事象が影響する機器の機能、部位が整理されたリストは妥当 ・耐震安全性に有意な影響を与える経年劣化事象の選定が整理されたリストは妥当 ・有意としない経年劣化事象の根拠が示されており妥当			
有意な経年劣化事象の選定	経年劣化事象	腐食（全面腐食）	腐食（全面腐食）	腐食（全面腐食）	
	評価部位	母管	母管	母管	
4)経年劣化事象ごとの耐震安全性評価	①耐震クラス	Cであり妥当	Bであり妥当	Ａｓであり妥当	
	②機器に作用する地震力の算定	C クラス静的地震力を適用しており妥当	B クラス動的地震力を適用しており妥当	基準地震動 S_2 に基づく地震力及び A クラス地震力を適用しており妥当	
	③60 年の供用を仮定した経年劣化事象のモデル化	防食技術便覧に基づき60年間の腐食量を想定しており妥当	防食技術便覧に基づき60年間の腐食量を想定しており妥当	防食技術便覧に基づき60年間の腐食量を想定しており妥当	
	④振動特性解析（地震応答解析）	該当せず（静的地震力）	腐食による剛性低下の振動特性に対する影響を考慮しており妥当	腐食による剛性低下の振動特性に対する影響を考慮しており妥当	
	⑤地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ	地震荷重による応力と自重及び内圧等による応力を組合せており妥当	地震荷重による応力と自重及び内圧等による応力を組合せており妥当	地震荷重による応力と自重及び内圧等による応力を組合せており妥当	
	⑥許容限界との比較	発生応力が許容応力以下との評価は妥当	発生応力が許容応力以下との評価は妥当	発生応力が許容応力以下との評価は妥当	
5)地震時動的機能維持の評価		該当せず	該当せず	該当せず	
6)評価対象機器全体への展開		該当なし	該当なし	補助給水系統配管（評価は上記）	
7)保全策に反映すべき項目の抽出		上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	上記により、追加保全が不要であるとの評価は妥当	